



TESIS – ME 142516

**ESTIMASI PELUANG TUBRUKAN KAPAL DENGAN
METODE *MINIMUM DISTANCE TO COLLISION* (MDTC),
STUDI KASUS : ALUR PELAYARAN BARAT SURABAYA**

OLEH :

BENEDICTA DIAN ALFANDA

4113204007

DOSEN PEMBIMBING

A.A.B DINARIYANA D.P, ST., MES, Ph.D.

Prof. Dr. KETUT BUDA ARTANA, ST., M.Sc

PROGRAM MAGISTER

TEKNIK SISTEM DAN PENGENDALIAN KELAUTAN

PROGRAM PASCASARJANA TEKNOLOGI KELAUTAN

FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2015



THESIS - ME 142516

**TITLE : PROBABILITY OF SHIP COLLISION USING MINIMUM
DISTANCE TO COLLISION (MDTC); A CASE STUDY OF
SURABAYA WEST ACCESS CHANNEL (SWAC)**

AUTHOR :

BENEDICTA DIAN ALFANDA

4113204007

SUPERVISORS :

A.A.B DINARIYANA D.P, ST., MES, Ph.D.

Prof. Dr. KETUT BUDA ARTANA, ST., M.Sc

MAGISTER PROGRAM

MARINE CONTROL AND SYSTEM ENGINEERING

PROGRAM STUDY OF MARINE TECHNOLOGY

DEPARTEMENT OF MARINE ENGINEERING

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2015

ESTIMASI PELUANG TUBRUKAN KAPAL DENGAN METODE *MINIMUM DISTANCE TO COLLISION* (MDTC), STUDI KASUS : ALUR PELAYARAN BARAT SURABAYA

Nama mahasiswa : Benedicta Dian Alfanda

NRP : 4113204007

Pembimbing : A.A.B. Dinariyana, ST., MES., Ph.D.
Prof. Dr. Ketut Buda Artana, ST., M.Sc

ABSTRAK

Tahun 2013, tercatat kepadatan lalu lintas kapal di Selat Madura mencapai 43.000 *ship calls*. Jumlah tersebut dirasa telah melebihi kapasitas daya dukung alur Selat Madura yang hanya 27.000 kapal per tahun (Kabar Bisnis, 2014). Dengan adanya rencana pengembangan infrastruktur di sekitar pelabuhan, keberadaan instalasi laut seperti *platform*, pipa dan kabel bawah laut di sekitar alur pelayaran, menyebabkan kepadatan Selat Madura semakin sulit diurai. Sehingga penting untuk dilakukan perhitungan *probability of maritime accidents* karena tingginya potensi *hazard* di lokasi tersebut, salah satunya adalah tubrukan kapal. Kondisi alur pelayaran yang terbatas dan tidak sebanding dengan jumlah kapal yang melintas menyebabkan terjadinya tubrukan kapal. Kerugian yang dialami akibat kejadian tubrukan kapal sangat besar, seperti hilangnya nyawa, kerugian lingkungan bila tubrukan menyebabkan tumpahan minyak, kerusakan fisik kapal serta kerugian ekonomi akibat kerusakan pada muatan. Melalui penelitian yang dilakukan, untuk mendapatkan nilai estimasi peluang tubrukan kapal dengan metode *Minimum Distance to Collision* (MDTC) (Montewka, 2011) didapatkan nilai peluang tubrukan kapal tertinggi berada di daerah *inner channel* pada *spot* 19000-30000 secara *head on* sejumlah 2.138 *accidents/year* dan peluang tubrukan terendah adalah tubrukan secara *overtaking* pada *outer channel spot* 13000-19000 sejumlah 0.086 *accidents/year*. Sedangkan dengan *Traffic Based Model* (Kristiansen, 2005) nilai peluang tubrukan kapal tertinggi berada di daerah *inner channel* pada *spot* 19000-30000 secara *head on* sejumlah 1.151 *accidents/year* dan peluang tubrukan terendah adalah tubrukan secara *overtaking* pada *outer channel spot* 38000-43000 sejumlah 0.130 *accidents/year*, diharapkan tubrukan kapal dapat dicegah sehingga frekuensi kecelakaan bisa lebih diminimalkan di daerah alur pelayaran barat Selat Madura, dimana sering terjadi kecelakaan kapal.

Kata Kunci : *Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS), Minimum Distance to Collision, probability, Traffic Based Model, tubrukan kapal,*

PROBABILITY OF SHIP COLLISION USING MINIMUM DISTANCE TO COLLISION (MDTC); A CASE STUDY OF SURABAYA WEST ACCESS CHANNEL (SWAC)

Name : Benedicta Dian Alfanda
NRP : 4113204007
Supervisors : A.A.B. Dinariyana, ST., MES., Ph.D.
Prof. Dr. Ketut Buda Artana, ST., M.Sc

ABSTRACT

By 2013, it was recorded that the density of ship traffic in the Madura Strait reached 43.000 ship calls. This number is considered exceeding the existing capacity of Madura Strait which is only 27.000 ships per year (Kabar Bisnis, 2014). With the plan of port development around the area, the existence and future oil and gas platform installation, subsea gas pipeline and cables around the shipping channel, it is estimated that the density of Madura Strait is even more congested. It is important, therefore, to assess the probability of maritime accidents due to the high potential hazard in the area, and one of which is the ship collision. The existing shipping line condition in Madura Strait is limited (narrow) and not proportionate to the number of ships passing, and this could lead to ship collision. The loss caused by ship collision can be in many ways, such as loss of life, loss of environmental impact caused when oil spills, physical damage and economic loss as a result of the damage to the cargo. This research utilizes the Minimum Distance method to Collision (MDTC) to get an estimate value of the probability of ships collision (Montewka, 2011) and found the probabilities of ship collision as follows: in the inner channel at 19,000 to 30,000 spots in head-on collision 2,138 accidents/year and the lowest probabilities of ship collision is overtaking in the outer channel 0.086 at 13,000-19,000 spots accidents/year. While the Traffic Based Model (Kristiansen, 2005) found that the highest probability of ship collision in the inner channel at 19,000-30,000 spots in head-on 1,151 accidents / year and the lowest probabilities of ship collision is overtaking in the outer channel at 38,000-43,000 spots 0.130 accidents/year.

Keywords : *Minimum Distance to Collision, probability (MDTC), ship collision, Traffic Based Model (TBM), Surabaya West Access Channel(SWAC)*

LEMBAR PENGESAHAN

TESIS

Judul Tesis : ESTIMASI PELUANG TUBRUKAN KAPAL DENGAN METODE
MINIMUM DISTANCE TO COLLISION (MDTC), STUDI KASUS :
ALUR PELAYARAN BARAT SURABAYA

Oleh : **BENEDICTA DIAN ALFANDA**

NRP : **4113204007**

Telah Diujikan pada :

Hari / Tanggal : Senin, 26 Januari 2015

Periode Wisuda : Maret 2015

Untuk Mendapatkan Gelar Magister Teknik (MT) Pada
Program Pascasarjana Teknologi Kelautan – Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dosen Pembimbing

1. A.A.B. Dinariyana D.P, ST., MES., Ph.D.
NIP. 19750510 200003 1 001
2. Prof. Dr. Ketut Buda Artana, ST., M.Sc.
NIP. 19710915 199412 1 001

Dinariyana
.....

Dosen Penguji

1. Dr. Eng. Trika Pitana, ST., M.Sc.
NIP. 19760129 200112 1 001
2. DR. Eng. M. Badrus Zaman, ST., MT.
NIP. 19770802 200801 1 007

[Signature]
.....

[Signature]
.....

Direktur Program Pascasarjana
Institut Teknologi Sepuluh Nopember



[Signature]
Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T.
NIP. 19640405 199002 1 001

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Tuhan YME karena berkat kasih dan karunia-Nya penulis diberikan kesempatan untuk menyelesaikan tesis dalam bidang *Marine Safety and Reliability* dengan judul “ **Estimasi Peluang Tubrukan Kapal dengan Metode *Minimum Distance To Collision* (MDTC), Studi Kasus : Alur Pelayaran Barat Surabaya** ”.

Penulisan dan penyusunan tesis ini merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan program master di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tesis ini disusun untuk mendapatkan berapa peluang tubrukan kapal yang terjadi di sepanjang Alur Pelayaran Barat Surabaya yang merupakan daerah alur pelayaran dengan kepadatan arus kapal tinggi. Perhitungan estimasi dilakukan dengan membandingkan dua metode yaitu metode *Traffic Based Models* (TBM) dengan metode *Minimum Distance To Collision* (MDTC). Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat untuk mengetahui daya tampung maksimum Pelabuhan Tanjung Perak dalam melayani arus kunjungan kapal.

Penyelesaian tesis ini tidak lepas dari keterlibatan dukungan, doa serta bantuan baik moril maupun materiil berbagai pihak, oleh karenanya penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang turut membantu penyelesaian tesis ini. Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada :

1. Tuhan YME atas penyertaanNya dan kasihNya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini.
2. Orang tua dan Mertua, Mama, Papa, Bapak, Ibu dan adik-adikku Edo dan Dewi dan seluruh keluarga besar atas kasih sayang, doa, dukungan dan motivasinya.
3. Suamiku Stefanus Dyan Indriyawan atas pengertian, dukungan dan semangatnya yang tak pernah berhenti sehingga tesis ini bisa terselesaikan dengan baik.
4. Bapak A.A.B. Dinariyana D.P, ST., MES., Ph.D. dan Bapak Prof. Dr. Ketut Buda Artana, ST., M.Sc. selaku dosen pembimbing, terima kasih atas kesabaran, waktu, ilmu, pengarahan dan motivasi yang telah diberikan selama penulisan dan penyusunan tesis ini. Penulis mohon maaf atas segala perbuatan maupun ucapan yang kurang berkenan selama proses bimbingan.
5. Bapak Dr. Eng. Trika Pitana, ST., M.Sc. selaku Koordinator Jurusan yang telah memberikan arahan kepada penulis, sehingga dapat menyelesaikan studi dengan baik.
6. Bapak Badruz Zaman ST., MT., Ph.D selaku tim penguji.
7. Bapak Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, ST, MT. selaku Ketua Program Pascasarjana Teknologi Kelautan.

8. Pak Hasan dan Ibu Uki serta seluruh staf Tata Usaha Pascasarjana FTK yang selama ini membantu penulis dalam hal administrasi dan kepentingan akademik.
9. Distrik Navigasi Kelas IA Tanjung Perak Surabaya dan Kantor Kesyahbandaran Kelas Utama Tanjung Perak Surabaya atas data-data kapal yang telah diberikan.
10. Segenap jajaran dosen Jurusan Teknik Sistem Perkapalan Program Pascasarjana Teknologi Kelautan.
11. Segenap jajaran karyawan dan staff Program Pascasarjana Teknologi Kelautan.
12. Rekan seperjuangan PPsTK 2013, Bidang RAMS : Mas Yuniar, Pak Teddy, Mas Munir, Mas Amril, Bidang MPP : Syafi, Erik, mas Suardi, Mas Arul, Pak Imam, Penghuni setia lab kaca pasca mbak Arinta, mas Owi, semangat dan terus kompak!!
13. Teman diskusi selama pengerjaan tesis Anissa dan Bimo, terimakasih atas sharingnya, sehingga banyak referensi baru dan saling support selama ini.
14. Mas Budhi Santoso, ST, MT yang selalu siap untuk ditanya dan menjawab, terima kasih atas semua info dan bantuannya selama ini.
15. Teman-teman LJ Siskal 09 : Triyanti Irmiyana, Rachmad Widayat, Bayu Risdianto, Desna Hestyandhoko, Abdul Aziz Arfi dan Istri (Mbak In) terima kasih atas supportnya, semoga kita selalu bisa menjaga tali persahabatan dan persaudaraan ini.
16. Teman-teman Lab RAMS : Galih, Happy, Emmy, Uci, Kiky, Putri, Dini, Good, Alvin, Habib, Adi, Mas Dwi, Hayyi, Iqba, dan member lab RAMS lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.
17. Kos U-168 Bu Utami dan Pak Susanto, para penghuni kos Iva, Maker, Tata, Wenthy, Dewi, Ocha, Andina, Wenny, Arintya, Yolanda, Fikri dan Ella terima kasih *supportnya*. Serta semua pihak yang belum dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari dalam penulisan serta penyusunan tesis ini masih jauh dari kata sempurna, untuk itu penulis mengharapkan masukan berupa kritik dan saran yang membangun, guna menambah kelengkapan serta penyempurnaan untuk masa yang akan datang, semoga laporan tesis ini bisa bermanfaat bagi penulis dan pembaca.

Surabaya, Januari 2015

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN TESIS.....	iii
ABSTRAK.....	v
<i>ABSTRACT</i>	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS).....	1
1.3 Pengaruh Bertambahnya Jumlah Kapal di Selat Madura.....	4
1.4 Perumusan Masalah.....	6
1.5 Batasan Masalah.....	6
1.6 Tujuan.....	6
1.7 Manfaat.....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	9
2.1. Umum.....	9
2.2. <i>Automatic Identification System (AIS)</i>	10
2.3. Estimasi Peluang Tubrukan Kapal.....	12
2.4. <i>Minimum Distance to Collision (MDTC)</i>	20
2.4.1. <i>Head-on Collision</i>	21
2.4.2. <i>Overtaking Collision</i>	21
2.4.3. <i>Crossing Collision</i>	22
2.5. <i>Traffic Based Models</i>	22
2.5.1. <i>Head on Collision</i>	22
2.5.2. <i>Overtaking Collision</i>	23
2.5.3. <i>Crossing Collision</i>	24
2.6. Sistem Informasi Geografis (SIG).....	25
BAB III METODOLOGI.....	27
3.1 Tahapan Pengerjaan Tesis.....	27
3.1.1. Identifikasi Permasalahan.....	27

3.1.2.	Studi Literatur	29
3.1.3.	Pengumpulan Data	30
3.1.4.	Potensi Bahaya Tubrukan Kapal	31
3.1.5.	Mengolah Data	31
3.1.6.	Estimasi Peluang Tubrukan Kapal	32
3.1.7.	Kesimpulan dan Saran	33
3.1.8.	<i>Flowchart</i> Pengerjaan Tesis	34
BAB IV ANALISA DATA		35
4.1.	Kepadatan Alur Pelayaran Barat Surabaya	35
4.2.	Data Tubrukan Kapal di Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS)	37
4.3.	Integrasi Data <i>Automatic Identification System</i> (AIS)	38
4.4.	Plotting Data AIS ke dalam GIS	41
4.5.	Analisa Kepadatan Lalu Lintas di Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS)	41
4.5.1	Perhitungan Probabilitas Tubrukan Kapal dengan Metode <i>Traffic Based Models</i>	41
4.5.2	Perhitungan Probabilitas Tubrukan Kapal dengan Metode <i>Minimum Distance To Collision (MDTC)</i>	63
4.6	<i>Plotting Area</i> Tingkat Bahaya Tubrukan Kapal di APBS dengan <i>Software QGIS</i>	68
BAB V		71
PENUTUP		71
5.1.	Kesimpulan	71
5.2.	Saran	72
DAFTAR PUSTAKA		75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Pembagian Jalur Pelayaran di APBS, <i>Inner</i> dan <i>Outer Channel</i> .	5
Gambar 2.1 Alur Pelayaran Barat Surabaya	9
Gambar 2.2 Perangkat AIS di Laboratorium Keandalan JTSP, FTK-ITS.....	11
Gambar 2.3 Persentase Kecelakaan Kapal Laut 2012	12
Gambar 2.4 Jenis-Jenis Tubrukan	13
Gambar 2.5 Faktor Penyebab Kecelakaan Kapal	14
Gambar 2.6 Geometri Tubrukan Kapal.....	15
Gambar 2.7 Diameter Tubrukan Geometris	16
Gambar 2.8 Tubrukan Kapal Secara <i>Head On</i> (IWRAP MK2).....	18
Gambar 2.9 Tubrukan Kapal Secara Secara <i>Overtaking</i> (IWRAP MK2)	18
Gambar 2.10 Tubrukan Kapal Secara Secara <i>Crossing</i> (IWRAP MK2).....	19
Gambar 2.11 Model MDTC	20
Gambar 2.12 Model Tubrukan Kapal (<i>Traffic Based Models</i>) Posisi <i>Head On</i>	22
Gambar 2.13 Model Tubrukan Kapal (<i>Traffic Based Models</i>) Posisi <i>Overtaking</i>	24
Gambar 2.14 Model Tubrukan Kapal (<i>Traffic Based Models</i>) Posisi <i>Crossing</i>	24
Gambar 2.15 Kepadatan Arus Kunjungan Kapal di APBS Hasil <i>Plotting</i> GIS	26
Gambar 3.1 <i>Outer Channel</i> APBS.....	27
Gambar 3.2 <i>Inner Channel</i> APBS	28
Gambar 3.3 Peta Alur Pelayaran Barat Surabaya.....	31
Gambar 3.4 Alur Pengerjaan Tesis	34
Gambar 4.1 Tampilan Pada AIS.....	39
Gambar 4.2 Skenario Tubrukan Kapal Secara <i>Head On</i> di APBS.....	42
Gambar 4.3 Kapal yang Memiliki Peluang untuk Bertubrukan Secara <i>Head On</i> dari Hasil <i>Plotting</i> GIS.....	43
Gambar 4.4 Skenario Tubrukan Kapal Secara <i>Overtaking</i> di APBS	49
Gambar 4.5 Kapal yang Memiliki Peluang untuk Bertubrukan Secara <i>Overtaking</i> dari Hasil <i>Plotting</i> GIS	49

Gambar 4.6 Skenario Tubrukan Kapal Secara Crossing di APBS	54
Gambar 4.7 Kapal yang Memiliki Peluang untuk Bertubrukan Secara Crossing dari Hasil Plotting GIS	54
Gambar 4.8 Plotting Koordinat AIS pada Quantum GIS.....	69
Gambar 4.9 Plotting Daerah dengan Frekuensi Tubrukan Kapal Paling Tinggi Pada QGIS.....	70

DAFTAR GRAFIK

Grafik 1.1 Kecelakaan Kapal 2009 s.d 2013	2
Grafik 4.1 Volume Kepadatan Kapal di APBS per Hari pada Januari 2014	36
Grafik 4.2 Volume Kepadatan Kapal di APBS per Jam pada Januari 2014	36
Grafik 4.3 Kecelakaan Kapal di APBS	38
Grafik 4.4 <i>Number of Accidents</i> Pada <i>Outer Channel</i> , Lebar Alur 100 meter	59
Grafik 4.5 <i>Number of Accidents</i> Pada <i>Outer Channel</i> , Lebar Alur 150 meter	60
Grafik 4.6 <i>Number of Accidents</i> Pada <i>Outer Channel</i> , Lebar Alur 200 meter	60
Grafik 4.7 <i>Number of Accidents</i> Pada <i>Inner Channel</i> , Lebar Alur 100 meter	61
Grafik 4.8 <i>Number of Accidents</i> Pada <i>Inner Channel</i> , Lebar Alur 150 meter	62
Grafik 4.9 <i>Number of Accidents</i> Pada <i>Inner Channel</i> , Lebar Alur 200 meter	62
Grafik 4.10 <i>Number of Accidents</i> dengan Metode MDTC	67

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Data Kecelakaan Kapal yang Telah Diidentifikasi oleh KNKT 2007-2011	1
Tabel 1.2 Data Kecelakaan Kapal Akibat Tubrukan Kapal di Selat Madura.....	2
Tabel 1.3 Rencana Revitalisasi Alur Pelayaran Barat Surabaya.....	3
Tabel 1.4 Rencana Pengembangan Infrastruktur di Wilayah Jawa Timur.....	4
Tabel 3.1 Nilai Pc dari Beberapa Penelitian	29
Tabel 4.1 Arus Kunjungan Kapal	35
Tabel 4.2 Data Kecelakaan Kapal di APBS.....	37
Tabel 4.3 Data AIS Pada 31 Januari 2014	40
Tabel 4.4 Data <i>Target Ship</i> Pada Skenario Tubrukan <i>Head On</i>	44
Tabel 4.5 Data <i>Own Ship</i> Pada Skenario Tubrukan <i>Head On</i>	44
Tabel 4.6 Peluang Kegagalan Kapal yang Menyebabkan Tubrukan Kapal Secara <i>Head On</i>	45
Tabel 4.7 Perhitungan <i>Head On Collision</i> Pada <i>Outer Channel (Traffic Based Models)</i>	47
Tabel 4.8 Perhitungan <i>Head On Collision</i> Pada <i>Inner Channel (Traffic Based Models)</i>	48

Tabel 4.9 Data <i>Target Ship</i> Pada Skenario Tubrukan <i>Overtaking</i>	50
Tabel 4.10 Data <i>Own Ship</i> Pada Skenario Tubrukan <i>Overtaking</i>	50
Tabel 4.11 Peluang Kegagalan Kapal yang Menyebabkan Tubrukan Kapal Secara <i>Overtaking</i>	50
Tabel 4.12 Perhitungan <i>Overtaking Collision</i> Pada <i>Outer Channel (Traffic Based Models)</i>	52
Tabel 4.13 Perhitungan <i>Overtaking Collision</i> Pada <i>Inner Channel (Traffic Based Models)</i>	53
Tabel 4.14 Data <i>Target Ship</i> Pada Skenario Tubrukan <i>Crossing</i>	55
Tabel 4.15 Data <i>Own Ship</i> Pada Skenario Tubrukan <i>Crossing</i>	55
Tabel 4.16 Peluang Kegagalan Kapal yang Menyebabkan Tubrukan Kapal Secara <i>Crossing</i>	56
Tabel 4.17 Perhitungan <i>Crossing Collision</i> Pada <i>Outer Channel (Traffic Based Models)</i>	57
Tabel 4.18 Perhitungan <i>Crossing Collision</i> Pada <i>Inner Channel (Traffic Based Models)</i>	58
Tabel 4.19 Perhitungan <i>Minimum Distance To Collision</i>	65

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagai pintu gerbang ekonomi di Indonesia Timur dengan aktivitas ekspor impor berbagai bidang industri, pelabuhan Tanjung Perak yang terletak di sekitar Selat Madura (*Annual Report Pelindo, 2013*) selalu dipadati oleh kapal-kapal dengan jumlah mencapai 43.000 kapal per tahun melebihi kapasitasnya yang hanya 27.000 kapal per tahun (Kabar Bisnis, 2014). Banyaknya jumlah kapal yang melintasi selat Madura dengan kondisi lebar alur yang terbatas, ditambah keberadaan instalasi laut seperti *platform*, pipa dan kabel bawah laut di sekitar alur pelayaran, menyebabkan potensi kecelakaan kapal, salah satunya kecelakaan akibat tubrukan kapal, cukup besar pada lokasi tersebut. Menurut data yang didapat dari analisis data kecelakaan dan investigasi transportasi laut tahun 2007-2011 secara global tercatat beberapa kecelakaan kapal dengan jumlah korban jiwa cukup tinggi, seperti ditunjukkan pada **tabel 1.1.** berikut :

Tabel 2.1 Data kecelakaan kapal yang telah diinvestigasi oleh KNKT 2007-2011

No.	Tahun	Jml Kecelakaan	Jenis Kecelakaan			Korban Jiwa	
			Kapal Tenggelam	Kapal Terbakar /Meledak	Kapal Tubrukan	Korban Meninggal	Korban Luka- Luka
1	2007	7	4	3	0	100	104
2	2008	5	2	3	0	10	51
3	2009	4	2	1	1	447	0
4	2010	5	1	1	3	15	85
5	2011	6	1	3	2	86	346
Total		27	10	11	6	658	586

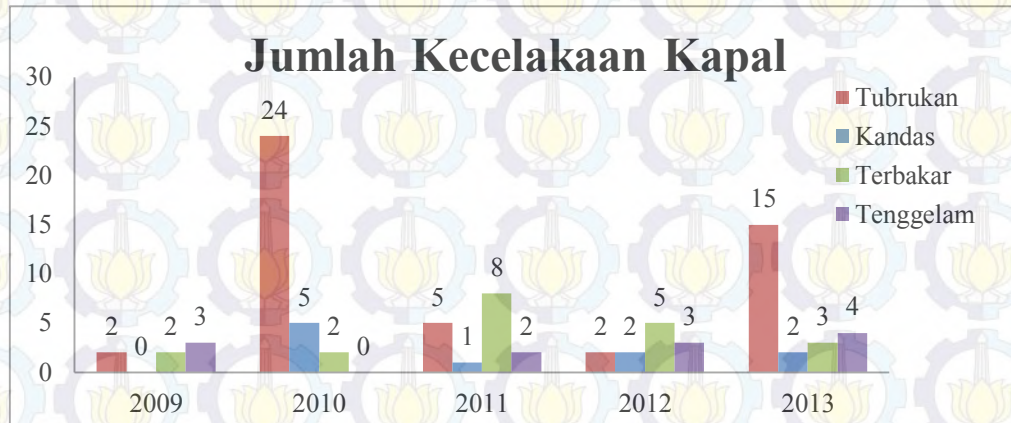
(Sumber : Database KNKT sampai dengan 27 Desember 2011)

Dari database KNKT tersebut, beberapa kejadian kecelakaan terjadi di daerah Selat Madura tidak terekspose.

1.2 Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS)

Alur Pelayaran Barat Surabaya merupakan pintu masuk menuju Pelabuhan Tanjung Perak dan sekitarnya. Saat ini, kondisi APBS hanya memiliki lebar 100 meter dengan kedalaman -9 m LWS. Serta hanya terdapat satu jalur perlintasan.

Keterbatasan lain yang dimiliki APBS Tanjung Perak adalah tidak mampu dilewati kapal dengan draft lebih dari 8,5 meter (Tempo, 2014). Seperti disebutkan oleh beberapa sumber, banyak terjadi kecelakaan kapal di Selat Madura khususnya di sekitar Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS). Pada **grafik 1.1** dan **tabel 1.2** berikut ini akan ditunjukkan secara rinci kejadian kecelakaan kapal di daerah APBS yang disebabkan oleh tubrukan kapal.



Grafik 2.1 Kecelakaan Kapal di APBS Periode 2009 s.d 2013

Tabel 2.2 Data Kecelakaan Kapal Akibat Tubrukan Kapal di Selat Madura

No.	Kecelakaan	Tahun	Lokasi Kecelakaan	Akibat Kecelakaan
1	Tubrukan MV Uni Chart dengan KM Mandiri Nusantara	2003	Buoy APBS 8,	Kerusakan badan kapal dan jumlah korban tewas 3 orang
2	Tubrukan KM Tanto Niaga dengan KM Mitra Ocean	2009	Buoy APBS 10,	Kerusakan badan kedua kapal dan kandasnya KM Tanto Niaga
3	Tubrukan KMP Manila dengan bangkai kapal di Selat Madura	Maret, 2012	Dermaga Ujung	1 orang meninggal dunia
4	Tubrukan KM Alken Pesat dengan KM Alpine	Desember, 2012	Antara Buoy 10 dan Buoy 12, APBS	Tenggelamnya KM Alken Pesat
5	Tubrukan KM Tanto Hari dengan MT Sirius	Januari, 2014	Buoy APBS 10,	Rusaknya anjungan MT Sirius dan tenggelamnya KM Tanto Hari
6	Terjadi tubrukan KM Lambelu dengan KM Journey	April, 2014	Buoy APBS 10,	Hilangnya muatan kapal KM Journey akibat kapal tenggelam

(Sumber : Laporan Investigasi KNKT 2003-2012, tribunews, merdeka.com, 2014)

Kondisi alur pelayaran dengan lebar dan kedalaman yang terbatas merupakan salah satu penyebab potensi kecelakaan cukup tinggi. Adanya pembatasan *draft* kapal yang diijinkan masuk ke Selat Madura karena perairan dangkal, juga

menyebabkan tersendatnya laju perekonomian di Indonesia Timur. Untuk mengatasi beberapa masalah di atas, dalam waktu dekat akan dilakukan revitalisasi di alur pelayaran dengan rencana sebagai berikut :

Tabel 2.3 Rencana Revitalisasi Alur Pelayaran Barat Surabaya

No.	Deskripsi	Alur Eksisting	Setelah Revitalisasi
1.	Kondisi Fisik -Panjang -Lebar -Kedalaman	25 Nautical Mile 100 meter -9.5 LWS	25 Nautical Mile 200 meter -12 LWS (Tahap Awal)
2.	Volume Pengerukan	700.000 m ³ /3 tahun	2,3 juta m ³ setiap tahun
3.	Kecelakaan Pelayaran	Sering Terjadi	Tidak Terjadi
4.	Pelayanan	Satu Arah	Dua Arah
5.	Model Pengelolaan	Oleh Pemerintah Tanpa <i>Channel Fee</i>	Oleh Swasta Dengan <i>Channel Fee</i>
6.	Biaya Perawatan	Beban Pemerintah	Bukan Beban Pemerintah
7.	Kapasitas <i>Traffic</i>	27.000 Gerakan Kapal/Tahun	59.000 Gerakan Kapal/Tahun

(Sumber : Paparan Dir KPU Pelindo III, Majalah Dermaga Edisi 173, April 2013)

Pada pertengahan 2011, tepatnya tanggal 27 Mei 2011, pemerintah mencanangkan program *Master Plan* Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia (MP3EI), untuk mewujudkan Indonesia sebagai Negara dengan tingkat ekonomi terbesar kesepuluh di dunia melalui peningkatan pembangunan infrastruktur, pembentukan regulasi yang memudahkan investasi, pemberian insentif bagi para pelaku kegiatan ekonomi, hingga pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terkait untuk tiap-tiap jenis industri (Deptan, 2011). Beberapa pengembangan infrastruktur yang dilakukan untuk mendukung berjalannya program MP3EI, dapat dilihat pada **tabel 1.4.** di bawah ini :

Tabel 2.4 Rencana Pengembangan Infrastruktur di Wilayah Jawa Timur

No.	Jenis Infrastruktur	Lokasi	Mulai Beroperasi
1	Pelabuhan Tanjung Perak sebagai pelabuhan Internasional penghubung koridor Jawa dan Kalimantan	Surabaya	2015
2	Pembangunan <i>Terminal Multipurpose</i> Teluk Lamong (TMTL)	Teluk Lamong	2014
3	Pengembangan <i>Java Integrated Industrial Port Estate</i> (JIPE)	Gresik	2015
4	Pengembangan <i>Madura Industrial Seaport City</i> (MISI)	Bangkalan, Madura	2017
5	Penambahan armada kapal ferry RoRo LDF (<i>Long Distance Ferrys</i>) 10 unit untuk mengurangi beban di jalur pantura	Jawa Timur	2013

(Sumber : Lampiran MP3I, www.Bappenas.go.id)

Rencana pengembangan infrastruktur di atas diharapkan dapat membantu mengurangi kepadatan traffic yang terjadi di Selat Madura. Dengan didirikannya Terminal Multipurpose Teluk Lamong (TMTL), penambahan 10 unit ferry dan beberapa infrastruktur lain, daerah alur pelayaran di Selat Madura akan semakin ramai dikunjungi, termasuk kunjungan kapal-kapal besar.

1.3 Pengaruh Bertambahnya Jumlah Kapal di Selat Madura

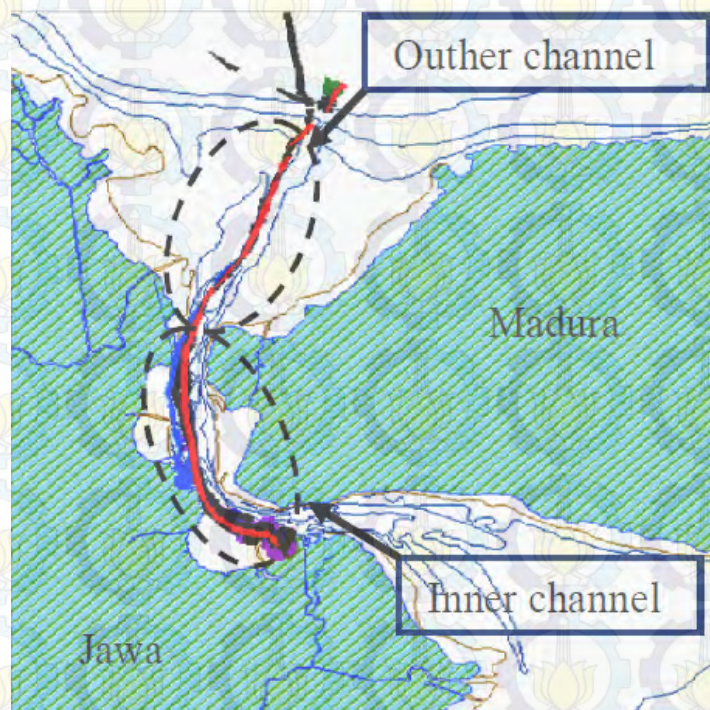
Pencanangan program MP3EI, membuat arus kunjungan kapal yang ada di Selat Madura akan semakin tinggi. Pertumbuhan arus kunjungan kapal berpengaruh terhadap tingkat keselamatan di sekitar alur pelayaran. Seperti dijeaskan pada persamaan berikut :

$$N_a = P_a * N_m \quad (1.1)$$

Dari persamaan di atas dapat didefinisikan bahwa *number of accident* (N_a) merupakan hasil perkalian peluang terjadinya suatu kejadian tubrukan (P_a) dengan jumlah kapal yang melintasi suatu daerah pada waktu tertentu (N_m). Dengan kata lain, semakin banyak jumlah kapal yang melintasi APBS, maka semakin besar pula jumlah kecelakaan yang mungkin terjadi. Sehingga peluang tubrukan kapal

sangat mungkin terjadi dengan pertumbuhan kunjungan arus kapal yang semakin tinggi. APBS sendiri dibagi kedalam dua *channel*, yaitu :

1. *Outer Channel* :
 - 0 – 6500
 - 6500 – 13.000
 - 13.000 – 19.0000
2. *Inner Channel* :
 - 19.000 – 30.000
 - 30.000 – 38.000
 - 38.000 – 43.000



Gambar 1.1 Pembagian Jalur Pelayaran di APBS, *Inner* dan *Outer Channel*
(Kurniawan, 2012)

Tubrukan kapal yang mungkin terjadi menimbulkan banyak kerugian. Karena dampak tubrukan kapal selain dapat merenggut korban jiwa, peristiwa tersebut juga menimbulkan kerugian bagi lingkungan, kerugian bagi perusahaan dan kerugian akibat rusak dan hilangnya muatan kapal. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian untuk mengestimasi peluang tubrukan kapal dengan menggunakan metode *Minimum Distance to Collision* (MDTC) (Jakub Montewka, 2011) dan akan dibandingkan dengan metode *Traffic Based Model* (Kristiansen, 2005) sehingga daya tampung Selat Madura dapat diketahui. Yang menjadi indikator kemungkinan tubrukan adalah dengan acuan besar kapal,

kecepatan kapal, dan tingkat kepadatan daerah pelayaran (Waworek et al, 2008). Dalam studi kasus tubrukan kapal di Selat Madura ini, skenario tubrukan akan dimodelkan dalam beberapa kondisi yaitu *head on*, *overtaking* dan *crossing*.

1.4 Perumusan Masalah

Perumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana melakukan estimasi peluang tubrukan kapal dengan menggunakan metode *Minimum Distance to Collision*.
2. Bagaimana melakukan estimasi peluang tubrukan kapal dengan menggunakan metode *Traffic Based Modeling*.
3. Bagaimana menentukan nilai P_c (*Causation Probability*) di alur pelayaran barat Selat Madura.
4. Bagaimana pemetaan lokasi bahaya berdasarkan frekuensi tubrukan kapal di Alur Pelayaran Barat Surabaya?

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah diperlukan untuk lebih memfokuskan bahasan. Batasan masalah dalam tesis ini adalah :

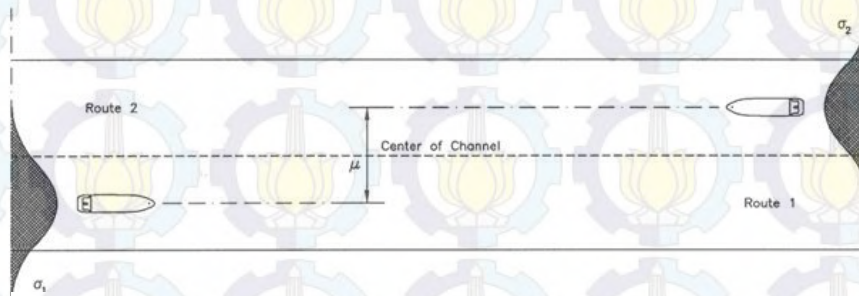
1. Obyek penelitian adalah alur pelayaran barat selat Madura yang terjangkau oleh AIS *receiver* di laboratorium RAMS.
2. Skenario tubrukan kapal: *head-on*, *overtaking* dan *crossing*.
3. Analisa modelling *Minimum Distance to Collision (MDTC)* dan akan dibandingkan dengan *Traffic Based Model*.

1.6 Tujuan

Dari latar belakang dan rumusan masalah diatas maka tujuan umum dari usulan penelitian ini adalah untuk mendapatkan estimasi peluang tubrukan kapal dengan metode *Minimum Distance to Collision (MDTC)* dibandingkan dengan *Traffic Based Model* di perairan selat Madura sehingga dapat diketahui daya tampung maksimum Pelabuhan Tanjung Perak dalam melayani arus kunjungan kapal. Serta memberikan alternatif solusi untuk mengurangi peluang terjadi tubrukan kapal apabila kejadian berada pada level yang tidak dapat diterima (≥ 1 kejadian).

1.7 Manfaat

Output yang dihasilkan dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi pihak terkait untuk meningkatkan pengawasan terhadap kondisi pelayaran dan membentuk budaya kesadaran akan pentingnya keselamatan pelayaran. Sedangkan untuk dunia pendidikan memberikan kontribusi berupa pengetahuan dan pemahaman yang baru tentang *probability of maritime accidents*.



Gambar 2.8 Tubrukan Kapal Secara Head On (IWRAP MK2)
(Sumber : iala-aism.org)

Persamaan :

$$N_G^{head-on} = L_W \sum_{i,j} P_{G_{ij}}(head-on) \frac{v_{ij}}{v_i^{(1)} v_j^{(2)}} (Q_i^{(1)} Q_j^{(2)}) \quad (2.6)$$

Dimana :

L_W : panjang alur atau lintasan yang dilalui kapal

V_i : kecepatan kapal pada lintasan i

V_j : kecepatan kapal pada lintasan j

V_{ij} : kecepatan relatif kapal pada kedua lintasan

Q_i : jumlah kapal yang melintas pada lintasan i per tahun

Q_j : jumlah kapal yang melintas pada lintasan j per tahun

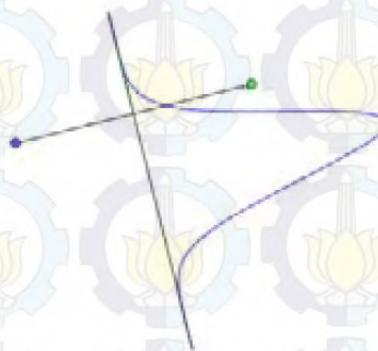
$$P_{G_{i,j}}^{head-on} = P \left[y_i^{(1)} + y_j^{(2)} < \frac{B_i^{(1)} + B_j^{(2)}}{2} \right] - P \left[y_i^{(1)} + y_j^{(2)} < -\frac{B_i^{(1)} + B_j^{(2)}}{2} \right]$$

$$P_{G_{i,j}}^{head-on} = \Phi \left(\frac{\bar{B}_{ij} - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \right) - \Phi \left(-\frac{\bar{B}_{ij} + \mu_{ij}}{\sigma_{ij}} \right) \quad (2.7)$$

Dimana :

B_{ij} : lebar badan kapal

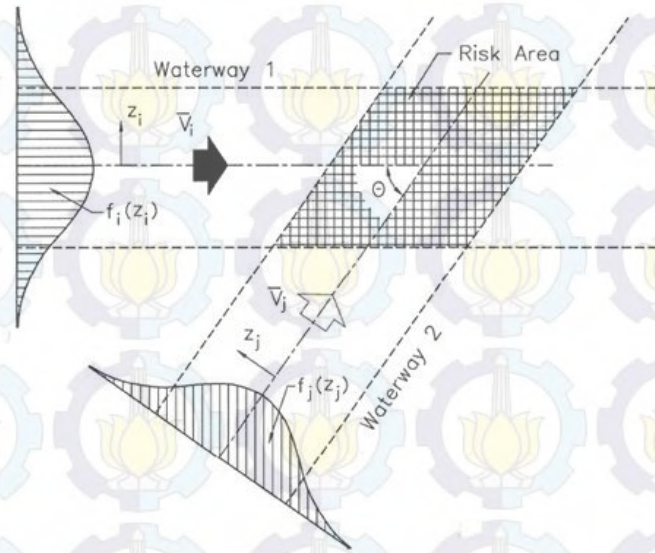
μ_{ij}, σ_{ij} : asumsi lebar alur dengan distribusi normal



Gambar 2.9 Tubrukan Kapal Secara Overtaking (IWRAP MK2)
(Sumber : iala-aism.org)

$$N_G^{overtaking} = L_W \sum_{i,j} P_{Gi,j}(overtaking) \frac{V_{ij}}{V_i^{(1)} V_j^{(2)}} (Q_i^{(1)} Q_j^{(2)}) \quad (2.8)$$

$$P_{Gi,j}^{overtaking} = \Phi\left(\frac{B_{ij} - \mu_{ij}}{\sigma_{ij}}\right) - \Phi\left(-\frac{B_{ij} + \mu_{ij}}{\sigma_{ij}}\right) \quad (2.9)$$



Gambar 2.30 Tubrukan Kapal Secara Crossing (IWRAP MK2)
(Sumber : iala-aism.org)

$$N_G^{crossing} = \sum_{i,j} \frac{Q_i^{(1)} Q_j^{(2)}}{V_i^{(1)} V_j^{(2)}} D_{ij} V_{ij} \frac{1}{\sin\theta} \quad \theta \neq 0 \quad (2.10)$$

$$D_{ij} = \frac{L_i^{(1)} V_j^{(2)} + L_j^{(2)} V_i^{(1)}}{V_{ij}} \sin\theta + B_j^{(2)} \left\{ 1 - \left(\sin\theta \frac{V_i^{(1)}}{V_{ij}} \right)^2 \right\}^{1/2} + B_i^{(1)} \left\{ 1 - \left(\sin\theta \frac{V_j^{(2)}}{V_{ij}} \right)^2 \right\}^{1/2} \quad (2.11)$$

Dimana :

D_{ij} : diameter geometris tubrukan kapal (i) dan kapal (j)

L : panjang kapal

V : kecepatan kapal

B : lebar badan kapal

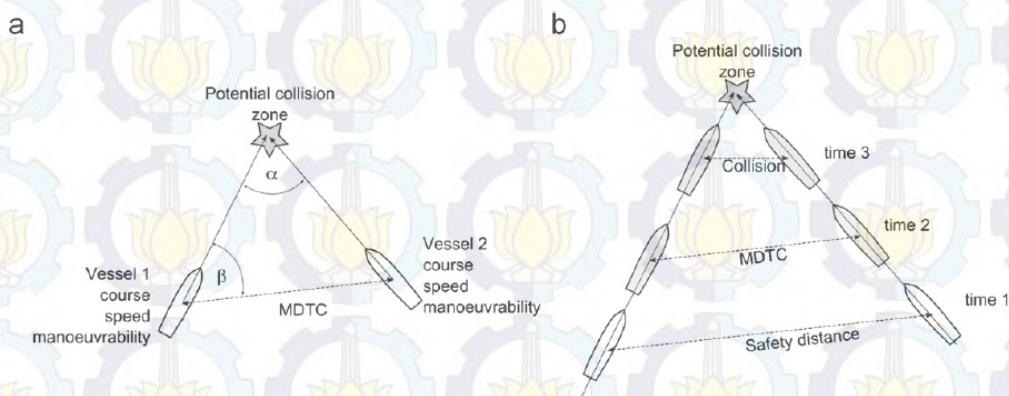
θ : Sudut arah kapal

dengan kecepatan relatif :

$$V_{ij} = \sqrt{(V_i^{(1)})^2 + (V_j^{(2)})^2 - 2 V_i^{(1)} V_j^{(2)} \cos\theta} \quad (2.12)$$

2.4. *Minimum Distance to Collision (MDTC)*

Metode *Minimum Distance to Collision* diperkenalkan oleh Jakob Montewka pada tahun 2010 untuk menilai risiko kapal tanker yang akan menuju Teluk Finlandia dengan melewati daerah percabangan alur yang cukup padat antara Helsinki dengan Tallinn. Dua kapal akan bertubrukan jika jarak antara kapal satu dengan kapal lainnya yang saling berdekatan menjadi kurang dari nilai tertentu, nilai inilah yang disebut *Minimum Distance to Collision (MDTC)*. Input yang diperlukan untuk menentukan nilai MDTC adalah : jenis kapal, sudut antara dua kapal, *relative bearing* dan kecepatan kapal, *common point / lintasan* yang dibentuk kedua kapal. Sebelum mencapai suatu titik dimana kedua kapal akan bertemu dan kemudian terjadi tubrukan, akan terbentuk sudut kritis yang ditunjukkan dengan notasi α pada gambar 2.4.a, konstan *relative bearing* dari satu kapal ke kapal lain dilambangkan dengan β seperti gambar 2.4.b dan pola manuver mengelak (satu kapal berayun atau keduanya) (Montewka et al. 2011).



Gambar 2.41 Model MDTC
(Sumber : Montewka, 2011)

Teori pemodelan MDTC bertujuan untuk menentukan "zona kritis" dengan mengkombinasikan jenis kapal dengan lainnya, kecepatan kapal yang berbeda dalam berbagai variasi sudut pertemuan, sehingga sempat dilakukan tindakan menolak agar tidak terjadi tubrukan dengan mengetahui jarak kritis antara dua kapal. Pemodelan dilakukan dengan variasi tiga skenario tubrukan, dan variasi tipe kapal yang ada pada alur pelayaran yang akan dianalisa. Skenario tubrukan kapal :

2.4.1. Head-on Collision

Kandidat terjadi *head on collision* dapat ditentukan melalui persamaan

$$N_{head\ on} = T_0 P_0 \quad (2.13)$$

$$T_0 = \frac{N^2}{2L} E[V_{ij}] \quad (2.14)$$

$$E[V_{ij}] = \sqrt{(V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos \theta)} \quad (2.15)$$

$$P_0 = P(x \leq \frac{B_1 + B_2}{2}) \quad (2.16)$$

Dimana :

P_0 : peluang kapal tertubruk kapal lain secara *head on*

N : perkiraan jumlah kapal yang melalui selat

L : panjang lintasan / selat yang dilalui

$E[V_{ij}]$: kecepatan relatif kapal

i : kapal pertama

j : kapal kedua

2.4.2. Overtaking Collision

Kandidat terjadi *overtaking collision* dapat ditentukan melalui persamaan :

$$N_{overtaking} = T_0 P_0 \quad (2.17)$$

$$T_0 = \frac{N^2}{2L} E[V_{ij}] \quad (2.18)$$

$$E[V_{ij}] = \sqrt{(V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos \theta)} \quad (2.19)$$

$$P_0 = P, x \leq \frac{B_1 + B_2}{2} \quad (2.20)$$

Dimana :

P_0 : peluang kapal tertubruk kapal lain secara *overtaking*

N : perkiraan jumlah kapal yang melalui selat

L : panjang lintasan / selat yang dilalui

$E[V_{ij}]$: kecepatan relatif kapal

2.4.3. Crossing Collision

Kandidat terjadi *crossing collision* dapat ditentukan melalui persamaan

$$N_{crossing} = \sum_{ij} \frac{E[V_{ij}] \lambda_i \lambda_j}{V_i V_j \sin \alpha} \quad (2.21)$$

Dimana :

λ : intensitas kapal yang melalui selat

V : kecepatan kapal

α : sudut diantara dua kapal yang akan bertemu

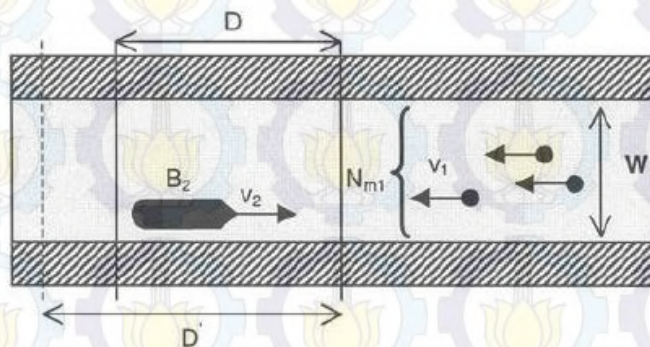
Untuk mencegah terjadinya tubrukan, perlu adanya tindakan penolakan dari kapal dengan mengubah jarak antar kapal. Dari hasil perhitungan nilai MDTC yang paling tepat dengan sudut β tertentu.

2.5. Traffic Based Models

Traffic Based Models merupakan pendekatan perhitungan frekuensi kecelakaan yang disesuaikan dengan *standard* teknis, kondisi lingkungan sekitar dan kepadatan lalu lintas kapal di suatu perairan tertentu (Kristansen, 2005). Untuk daerah perairan dilakukan di alur pelayaran Selat Madura, dengan skenario kapal mengalami tubrukan dengan tiga model tubrukan, yaitu : *head-on*, *crossing*, dan *overtaking*.

2.5.1. Head on Collision

Tubrukan *head-on* terjadi bila dua kapal melaju, dengan posisi saling berhadapan pada arah yang berlawanan. Potensi tubrukan terjadi pada haluan kapal, seperti tampak pada gambar di bawah ini :



Gambar 2.52 Model Tubrukan Kapal (*Traffic Based Models*) Posisi *Head-on*
(Sumber : Kristiansen, 2005)

Daftar Simbol :

ρ_s : kepadatan lalu lintas kapal (kapal/nm²)

T : perubahan gerak pada waktu tertentu (jam)

N_{ml} : frekuensi kedatangan kapal yang ditemui (kapal/satuan waktu)

v_l : rata-rata kecepatan kapal yang ditemui (knots)

W : rata-rata lebar alur pelayaran (m)

N_i : estimasi jumlah kecelakaan kapal yang melewati daerah terbatas

B : lebar kapal (m)

$F_{(ho)}$: frekuensi kecelakaan kapal posisi *head-on* pada suatu daerah pelayaran terbatas

P_c : faktor penyebab kecelakaan

N_m : jumlah kapal yang melintas atau berpapasan

* Untuk mengetahui kepadatan lalu lintas alur pelayaran, dapat menggunakan persamaan berikut ini

$$\rho = \frac{Nm}{v_1 * W} \quad (2.22)$$

* Perkiraan jumlah tubrukan yang terjadi per lintasan dengan posisi *head-on* dapat dihitung melalui persamaan sebagai berikut:

$$N_i = \frac{(B_1+B_2)}{W} * \frac{(v_1+v_2)}{v_1*v_2} * D * N_{ml} \quad (2.23)$$

* *Probability of accidents* secara *head-on* dapat dihitung melalui persamaan sebagai berikut:

$$P_a = N_i * P_c \quad (2.24)$$

* Jumlah kecelakaan yang mungkin terjadi secara *head-on* dapat dihitung melalui persamaan sebagai berikut:

$$N_a = P_a * N_m \quad (2.25)$$

2.5.2. *Overtaking Collision*

Tubrukan *overtaking* apabila dua buah kapal bergerak menuju ke suatu titik pada arah yang sama namun berbeda kecepatan, sehingga berpeluang untuk bertubrukan. *Overtaking* dapat ditunjukkan melalui gambar berikut ini :



Gambar 2.63 Model Tubrukan Kapal (*Traffic Based Models*) Posisi *Overtaking*

(Sumber : <http://fw.ky.gov/FishBoatGuide/Pages/Boating.aspx>, 2014)

* Untuk mengetahui kepadatan lalu lintas alur pelayaran, dapat menggunakan persamaan berikut ini

$$\rho = \frac{Nm}{V_1 * W} \quad (2.26)$$

* Perkiraan jumlah tubrukan yang terjadi per lintasan dengan posisi *obvertaking* dapat dihitung melalui persamaan sebagai berikut:

$$N_i = \frac{(B_1+B_2)}{W} * \frac{(V_1+V_2)}{V_1*V_2} * D * N_{ml} \quad (2.27)$$

* *Probability of accidents* secara *overtaking* dapat dihitung melalui persamaan sebagai berikut:

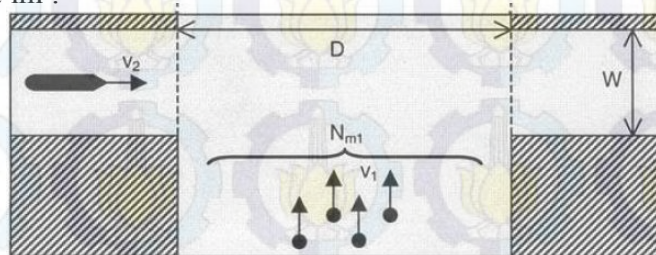
$$Pa = Ni * Pc \quad (2.28)$$

* Jumlah kecelakaan yang mungkin terjadi secara *overtaking* dapat dihitung melalui persamaan sebagai berikut:

$$Na = Pa * Nm \quad (2.29)$$

2.5.3. *Crossing Collision*

Terjadi tubrukan secara *crossing* apabila dua buah kapal atau lebih bergerak menuju ke suatu persimpangan pada saat bersamaan, sehingga memiliki peluang untuk bertubrukan. *Crossing* dapat ditunjukkan melalui gambar berikut ini :



Gambar 2.74 Model Tubrukan Kapal (*Traffic Based Models*) Posisi *Crossing*
(Sumber : Kristiansen, 2005)

Daftar Simbol :

B_1 : lebar kapal (m)

L_1 : panjang kapal yang bersimpangan dengan kapal utama (m)

v_1 : kecepatan kapal yang bersimpangan dengan kapal utama (knots)

B_2 : rata-rata dari lebar kapal (m)

L_2 : rata-rata dari panjang kapal (m)

W : rata-rata lebar alur pelayaran (m)

V_2 : kecepatan kapal rata-rata kapal (knots)

D'' : jarak pelayaran relatif (m)

$F_{(ho)}$: frekuensi kecelakaan kapal posisi *crossing* pada suatu daerah pelayaran terbatas per tahun

P_c : faktor penyebab kecelakaan

N_m : frekuensi kedatangan kapal yang ditemui (kapal/satuan waktu)

* Untuk mengetahui kepadatan lalu lintas alur pelayaran, dapat menggunakan persamaan berikut ini :

$$\rho = \frac{Nm}{v_1 * W} \quad (2.30)$$

* Peluang tubrukan dengan posisi *crossing* adalah sebagai berikut:

$$P_i = \frac{Nm}{v_1 * v_2} * [(B_1 + L_2) * V_1 + (L_1 + B_2) * V_2] \quad (2.31)$$

* *Probability of accidents* secara *crossing* dapat dihitung melalui persamaan sebagai berikut:

$$P_a = P_i * P_c \quad (2.32)$$

* Frekuensi kecelakaan kapal posisi *crossing* pada suatu daerah pelayaran terbatas per tahun adalah

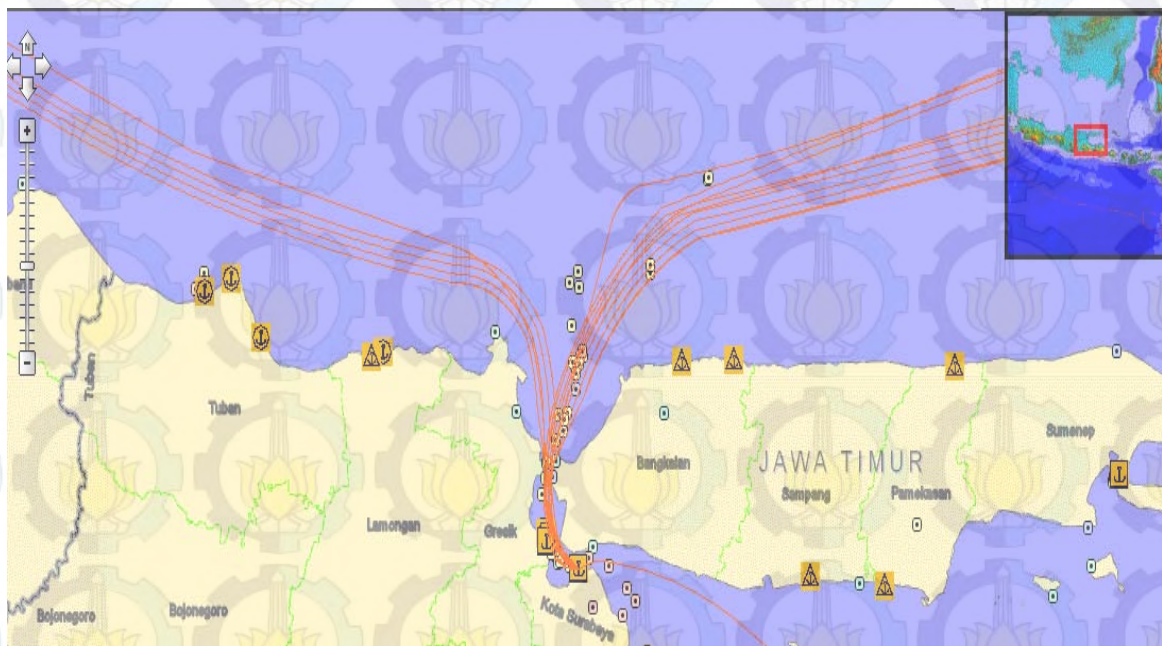
$$N_a = P_a * N_m \quad (2.33)$$

2.6. Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem Informasi Geografis (*Geographic Information System / GIS*) adalah suatu komponen yang terdiri dari perangkat keras, perangkat lunak, data geografis dan sumberdaya manusia yang bekerja bersama secara efektif untuk memasukan, menyimpan, memperbaiki, memperbaharui, mengelola,

memanipulasi, mengintegrasikan, menganalisa dan menampilkan data dalam suatu informasi berbasis geografis.

SIG mempunyai kemampuan untuk menghubungkan berbagai data pada suatu titik tertentu di bumi, menggabungkannya, menganalisa dan akhirnya memetakan hasilnya. Data yang akan diolah pada SIG merupakan data spasial yaitu sebuah data yang berorientasi geografis dan merupakan lokasi yang memiliki sistem koordinat tertentu, sebagai dasar referensinya. Sehingga aplikasi SIG dapat menjawab beberapa pertanyaan seperti; lokasi, kondisi, trend, pola dan pemodelan. Kemampuan inilah yang membedakan SIG dari sistem informasi lainnya.



Gambar 2.85 Kepadatan Arus Kunjungan Kapal di APBS Hasil Plotting GIS

(Sumber : <http://gis.dephub.go.id>)

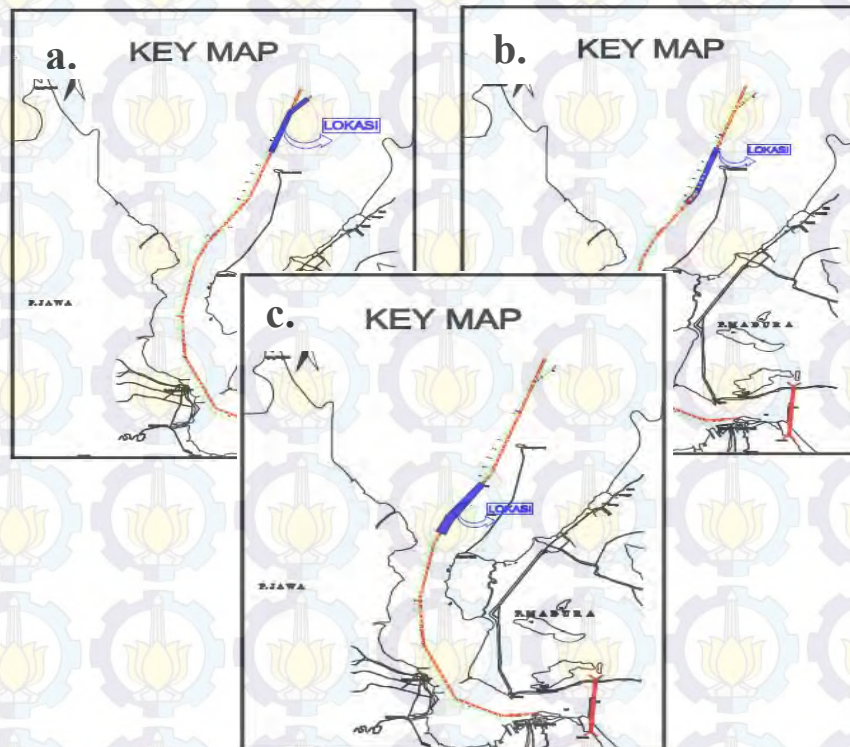
BAB III METODOLOGI

Metodologi penelitian merupakan langkah-langkah pengerjaan tesis sehingga tujuan dari tesis dapat tercapai, yang terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut:

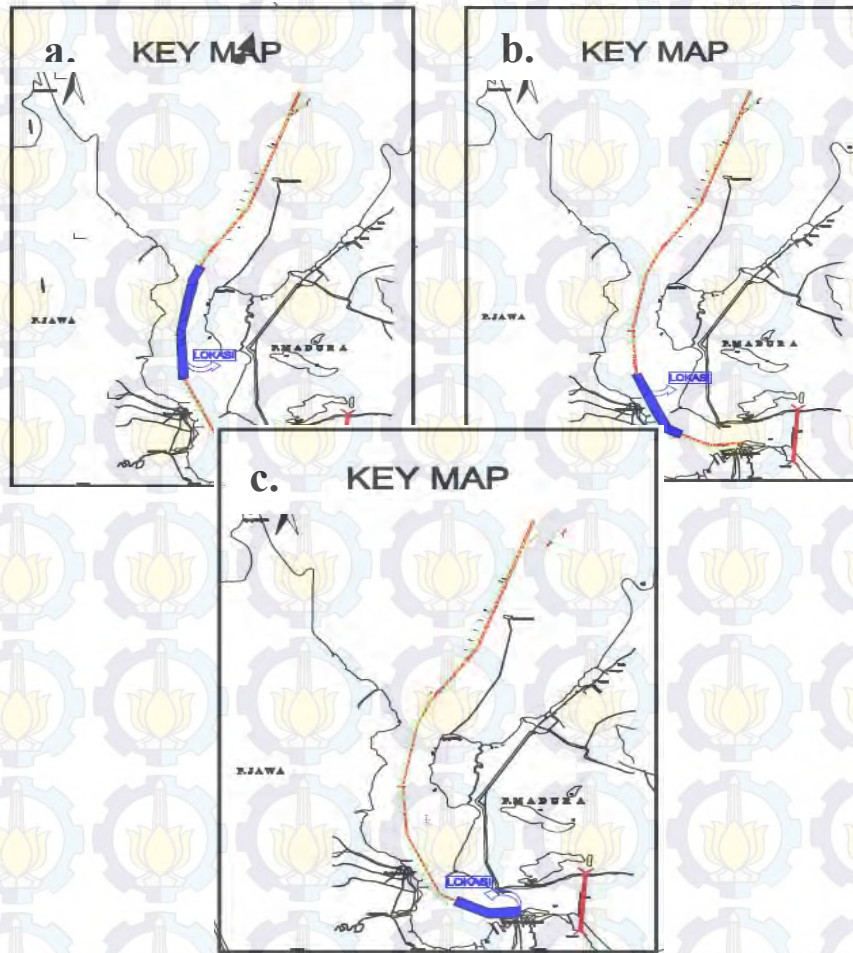
3.1 Tahapan Pengerjaan Tesis

3.1.1. Identifikasi Permasalahan

Identifikasi terhadap permasalahan yang diangkat dalam pengerjaan tesis sedapat mungkin dipilih pada isu-isu sedang menjadi perhatian publik, sehingga diharapkan hasil dari penelitian lebih bermanfaat. Seperti kejadian tubrukan kapal di sepanjang APBS. Tercatat beberapa kasus, dua diantaranya terjadi di awal tahun 2014 dalam kurun waktu yang relatif berdekatan. Tingginya arus pelayaran yang melalui APBS dengan daya dukung lebar alur pelayaran lebar 100 m, dirasa sudah sangat tidak aman dan gerak kapal sangat terbatas karena kepadatan lalu lintas di Selat Madura. Berikut ini pembagian *outer* dan *inner channel* di APBS (lokasi ditandai dengan garis biru).



Gambar 3.1 *Outer Channel* APBS (a) 0-6500 (b) 6500-13.000 (c) 13.000-19.000
(Sumber : Pelindo, 2011)



Gambar 3.2 Inner Channel APBS (a) 19.000-30.000 (b) 30.000-38.000 (c)38.000-43.000
(Sumber : Pelindo, 2011)

Dari hasil identifikasi masalah di atas, kemudian ditentukan langkah-langkah yang harus dilakukan dalam pengerjaan tesis beserta metode yang diterapkan dalam menyelesaikan masalah yang ada. Penelitian yang dilakukan akan membandingkan dua metode, yaitu metode *Minimum Distance To Collision* (MDTC) dan *Traffic Based Models*. Dari dua metode tersebut diharapkan dapat digunakan untuk menghitung nilai P_c (*Causation Probability*) khususnya di APBS, sehingga didapatkan nilai P_c yang tepat digunakan dan diterapkan di lokasi APBS. Berikut ini adalah beberapa nilai P_c beberapa lokasi di Negara lain yang didapatkan dari penelitian sebelumnya :

Tabel 3.1 Nilai P_c dari Beberapa Penelitian

Tubrukan Kapal			
Lokasi	P_c [$\times 10^{-4}$]	Keterangan	Referensi
Dover Strait	5.28	Head on, no traffic separation	Mcduff, 1974
Dover Strait	3.25	Head on, with traffic separation	Mcduff, 1974
Oresund, Denmark	0.27	Head on	Karlson, 1998
Japan Strait	0.49	Head on	Fujii, 1998
Japan Strait	1.23	Crossing	Fujii, 1998
Dover Strait	1.11	Crossing, no traffic separation	Mcduff, 1974
Dover Strait	0.95	Crossing, with traffic separation	Mcduff, 1974
Strait of Gibraltar	1.20		COWIconsult
Japan Strait	1.10	Overtaking	Fujii, 1998
Great Belt, Denmark	1.30	At bends in lanes	Pedersen, 1995
Danish Waters	3.00	Head on and overtaking	COWIconsult Oil and Chemical Spill, 2007

(Sumber : Rysqy, 2013)

3.1.2. Studi Literatur

Pada tahap ini, perlu dilakukan studi terhadap hal-hal yang dapat membantu dalam menyelesaikan penelitian terkait perhitungan peluang tubrukan kapal di sekitar Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS).

Untuk itu terdapat beberapa hal yang dipelajari, diantaranya :

1. Jurnal / *paper* yang mengulas tentang tubrukan kapal
2. Internet, adanya berita tentang tubrukan kapal yang terjadi dan perkembangan mengenai revitalisasi APBS.
3. Peraturan-peraturan pemerintah maupun organisasi yang mengatur tentang tubrukan kapal dan buku-buku materi penunjang.
4. *Automatic Identification System* (AIS) sebagai input data yang akan digunakan dalam penelitian.
5. QuantumGIS.

Studi literatur dilakukan untuk mempelajari tentang teori-teori dasar permasalahan yang berhubungan dengan *probability of maritime accidents*, faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya tubrukan kapal, serta beberapa teori / pendapat para ahli dalam melakukan evaluasi dalam mengurangi peluang terjadinya kecelakaan di alur pelayaran selat Madura. Untuk itu informasi tentang lokasi yang dijadikan objek penelitian, yaitu lokasi *buoy 4* dan *buoy 10* menjadi sangat penting dalam penelitian ini karena beberapa kejadian tubrukan terjadi di lokasi tersebut.

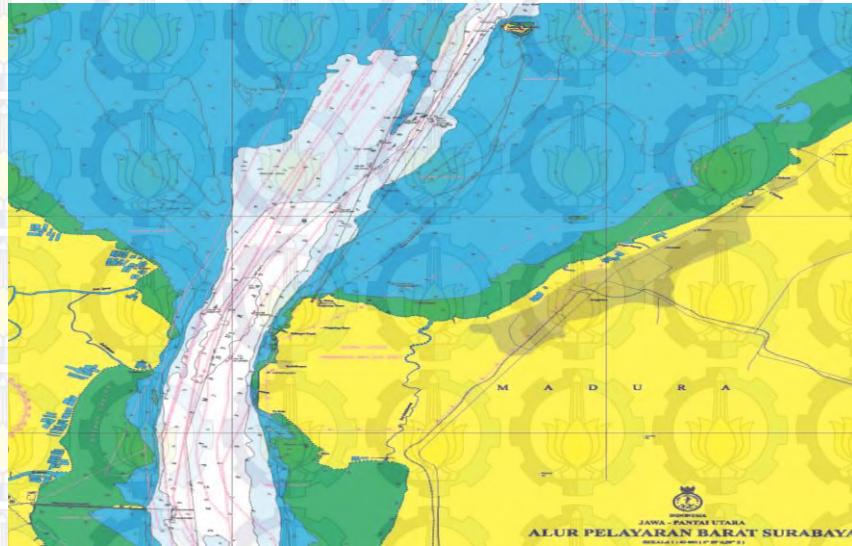
Disamping itu dilakukan pula pengumpulan berbagai macam referensi yang bisa digunakan untuk perhitungan/permodelan dalam melakukan perhitungan *probability of maritime accidents* untuk daerah tertentu dan mencari informasi tentang perangkat lunak / *software* yang mungkin bisa dipergunakan dalam mendapatkan data, mengolah data sampai dengan melakukan analisa.

3.1.3. Pengumpulan Data

Setelah melakukan studi literatur dan mengumpulkan bahan pustaka. Maka langkah selanjutnya adalah mengumpulkan semua data-data primer yang dibutuhkan untuk perhitungan dan pemodelan pada langkah selanjutnya. Data-data yang digunakan dalam tesis ini antara lain :

1. Data statistik kecelakaan kapal, data pemetaan wilayah laut sekitar Jawa Timur.
2. Data AIS pelayaran APBS
3. Data kondisi pelayaran di Selat Madura. Untuk mendapatkan data yang diperlukan, dapat dilakukan permohonan data di Kantor Kesyahbandaran Kelas Utama Tanjung Perak Surabaya.

Lokasi yang akan dijadikan objek penelitian adalah alur pelayaran barat Selat Madura.



Gambar 3.3 Peta Alur Pelayaran Barat Surabaya

(Sumber : Peta Laut No. 96a, Dishidros TNI AL)

Dimana pada daerah tersebut dipadati oleh kapal-kapal yang akan menuju ke beberapa pelabuhan yang berada di sepanjang alur pelayaran barat, dengan kondisi lebar alur yang sangat terbatas, sehingga olah gerak kapal cukup sulit di daerah tersebut. Sehingga diperlukan kecakapan awak kapal untuk tetap menjaga jarak aman dengan kapal lain agar tubrukan tidak terjadi.

3.1.4. Potensi Bahaya Tubrukan Kapal

Pada penelitian ini, fokus pembahasan hanya dilakukan pada kecelakaan kapal jenis tubrukan kapal. Tubrukan kapal merupakan bahaya yang mungkin diakibatkan oleh faktor alam, kesalahan manusia dan akibat terjadi kesalahan teknis. Contoh bahaya atau kecelakaan tubrukan yang terjadi akibat faktor alam misalnya cuaca yang buruk, membuat kapal sulit dikendalikan dan karena terkena ombak besar. Selain itu, tubrukan bisa terjadi akibat faktor manusia misalnya kelalaian nakhoda kapal dan faktor teknis yang menyebabkan terjadi kegagalan pada alat navigasi dan komunikasi.

3.1.5. Mengolah Data

Data yang didapat data jumlah kapal yang masuk dan keluar pelabuhan Tanjung Perak, kecepatan kapal, posisi kapal (ordinat), berikutnya dilakukan pengolahan data sesuai dengan metode-metode yang digunakan dalam *probability of maritime accidents*. Yaitu menggunakan metode *minimum*

distance to collision dan metode *traffic based models* dalam mengestimasi potensi tubrukan kapal di Selat Madura.

Hasil dari pengumpulan data ini bisa dipakai sebagai input untuk mengestimasi peluang tubrukan kapal dengan metode MDTC dan *Traffic Based Models*.

3.1.6. Estimasi Peluang Tubrukan Kapal

Adapun untuk menghitung *probability* atau frekuensi kecelakaan kapal pertahun dapat dihitung dengan persamaan berdasarkan Kristiansen, 2005 sebagai berikut :

$$P_a = \frac{N_a}{N_m} \quad (3.1)$$

Dimana :

N_a : jumlah kecelakaan yang terjadi pada periode tertentu

N_m : jumlah kapal yang berlayar pada periode tertentu

Inputan yang digunakan dalam penelitian ini adalah posisi / titik ordinat dan kecepatan kapal yang akan masuk / keluar pelabuhan Tanjung Perak. Posisi kapal yang dimaksudkan adalah posisi awal dan posisi tujuan dari kapal yang digunakan untuk menentukan berapa jarak yang akan ditempuh oleh kapal dan kemungkinan kapal akan bertemu atau menubruk kapal lain di dalam alur pelayaran. Selain posisi kapal variabel lain yang mempengaruhi adalah kecepatan kapal, jumlah kapal yang masuk dan keluar pelabuhan Tanjung Perak.

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan peluang tubrukan kapal dengan input data dari AIS yang selanjutnya diolah dengan menggunakan persamaan-persamaan yang telah diuraikan pada Bab II.

Sebagai output dari penelitian ini adalah berapa peluang terjadi kecelakaan kapal di Selat Madura dengan kondisi *existing* alur pelayaran sebelum revitalisasi dengan kondisi setelah revitalisasi dengan kenaikan kapasitas *traffic* 59.000 kapal/tahun. Bila hasil perhitungan menunjukkan peluang kejadian termasuk dalam kategori tidak dapat diterima, maka perlu diajukan beberapa

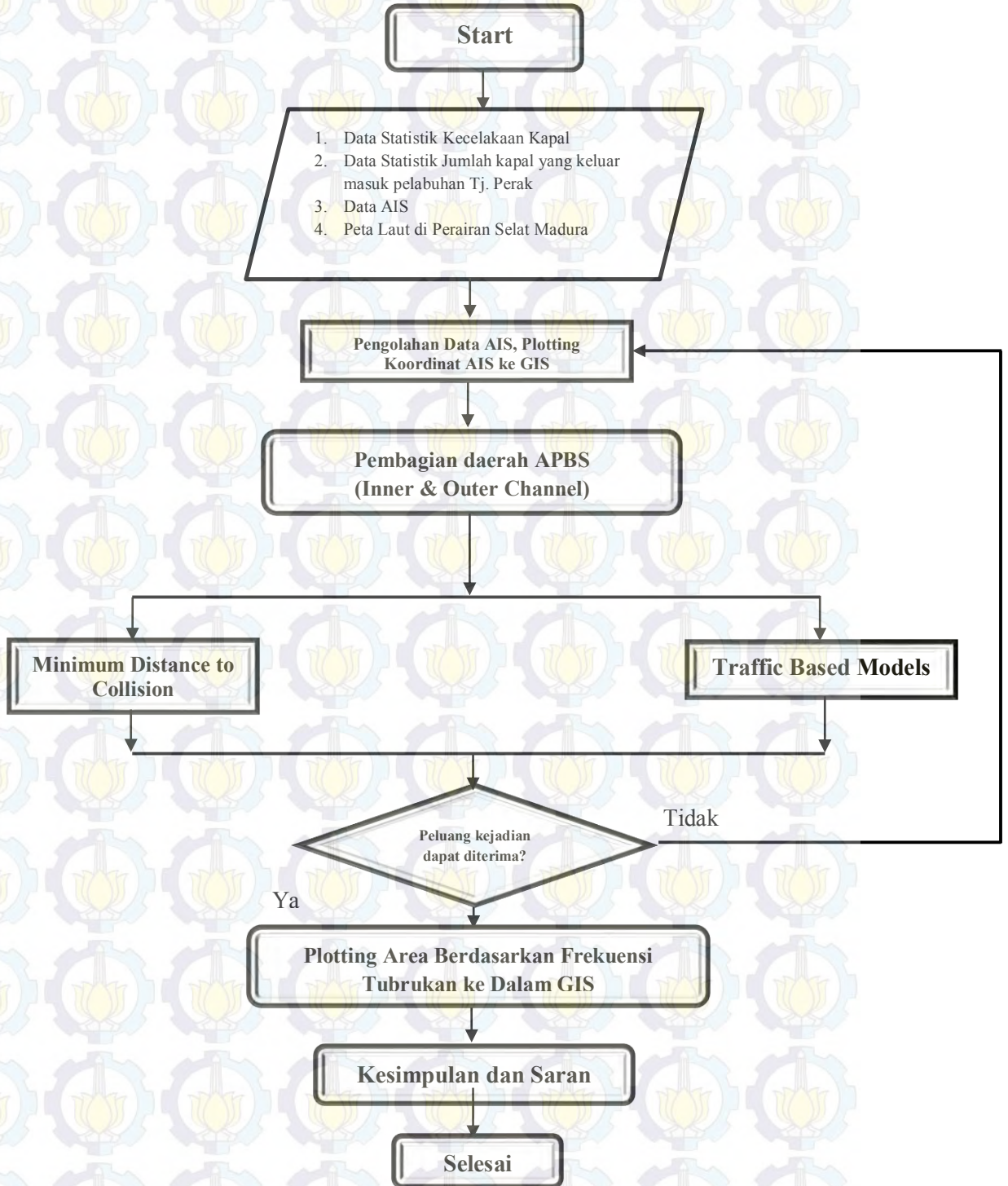


solusi dan alternatif tindakan untuk mengurangi jumlah kejadian tubrukan kapal di lokasi tersebut.

3.1.7. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan ini berisi ringkasan dan poin-poin penting dalam pengerjaan tesis. Saran merupakan hal-hal apa saja yang dapat dijadikan masukan dan perbaikan untuk kedepannya.

3.1.8. Flowchart Pengerjaan Tesis



Gambar 3.4 Alur Pengerjaan Tesis

BAB IV ANALISA DATA

4.1. Kepadatan Alur Pelayaran Barat Surabaya

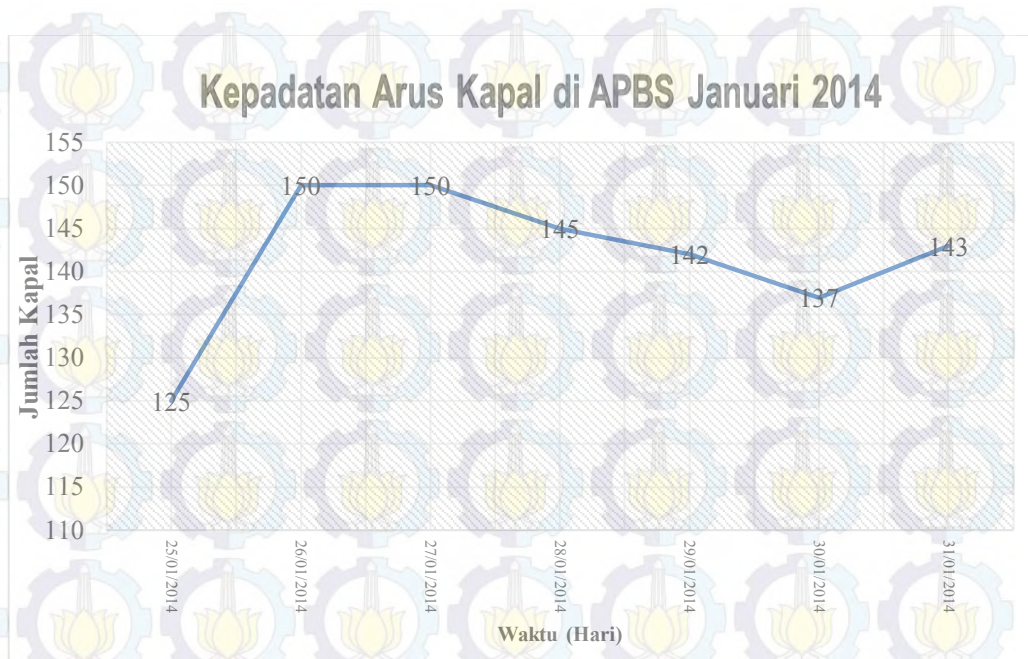
Alur Pelayaran Barat Surabaya dengan kondisi panjang alur ± 25 Nm (43,6 Km), memiliki lebar 100 m dan kedalaman -9.5 m LWS dengan satu jalur pelayaran. Menurut Pelindo III Cabang Tanjung Perak Surabaya, terjadi peningkatan arus kunjungan kapal rata-rata sebesar 3,23 % per tahun. Peningkatan arus kunjungan kapal ini disebabkan karena beberapa hal, diantaranya adanya penerapan sistem kerja terusan di Terminal Nilam *Multipurpose* sehingga berpengaruh terhadap peningkatan arus petikemas di Cabang Tanjung Perak, adanya peningkatan kegiatan bongkar muat petikemas di Terminal Mirah, adanya peningkatan arus bongkar muat curah cair BBM di dermaga Jetty Ghospier Nilam Utara, meningkatnya kegiatan bongkar muat barang proyek ke Indonesia Timur untuk menunjang percepatan pembangunan, meningkatnya kunjungan kapal di DUKS Maspion dan DUKS Wilmar, serta meningkatnya arus kunjungan penumpang dan penambahan pelayaran kapal penumpang di Pelabuhan Gresik dari dan ke Bawean. Secara global arus kunjungan kapal yang melalui APBS dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.1 Arus Kunjungan Kapal

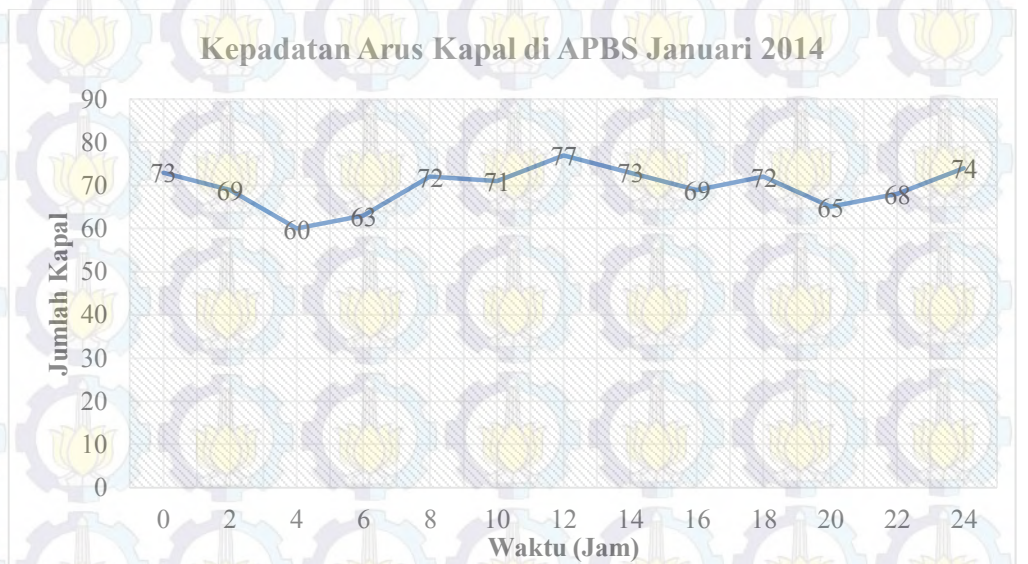
Lokasi	2009 (unit)	2010 (unit)	2011 (unit)	2012 (unit)	2013 (unit)
Tj.Perak	15064	14198	14117	14773	14198
Gresik	5770	5650	5625	5851	7295
Total	20834	19848	19742	20624	21493

Sumber : Rapat Kerja dan Evaluasi Tahun 2012, Pelindo III

Dari *record* data AIS yang ada di laboratorium keandalan, di dapatkan data kepadatan *traffic* di APBS seperti ditunjukkan oleh **grafik 4.1** dan **grafik 4.2** berikut :



Grafik 4.1 Volume Kepadatan Kapal di APBS per Hari pada Januari 2014



Grafik 4.2 Volume Kepadatan Kapal di APBS per Jam pada Januari 2014

Untuk menghadapi peningkatan arus kunjungan kapal tersebut, pemerintah berencana melakukan revitalisasi APBS, agar kapal-kapal berukuran besar dapat masuk ke APBS tanpa terkendala batasan *draft* maksimum dan kemungkinan kecelakaan kapal karena sempitnya alur untuk melayani jumlah kapal yang terus meningkat. Rencana revitalisasi tersebut dilakukan dengan melakukan pengerukan sehingga lebar alur 200 meter dengan kedalaman mencapai -14m LWS.

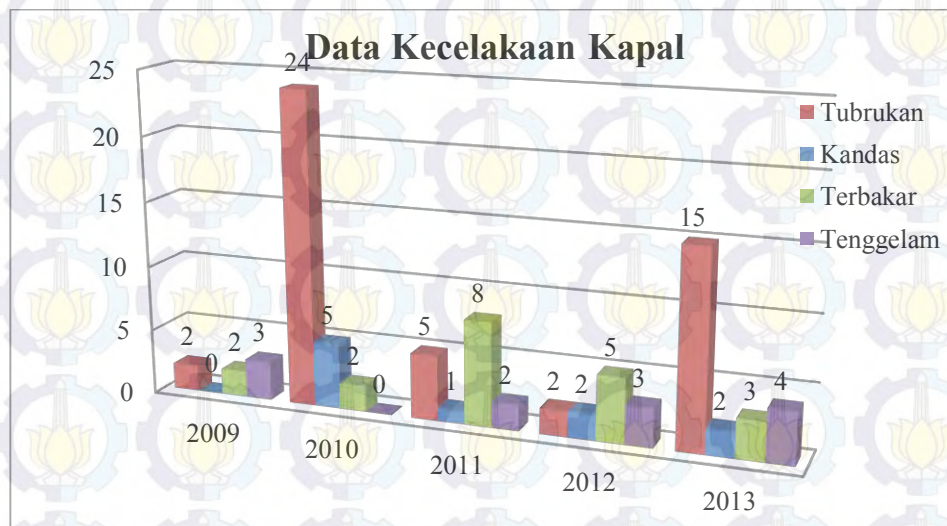
4.2. Data Tubrukan Kapal di Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS)

Data kecelakaan kapal yang didapatkan dari Kantor Kesyahbandaran Kelas Utama Tanjung Perak Surabaya menunjukkan bahwa sering terjadi kecelakaan kapal di APBS. Tabel berikut akan menunjukkan secara rinci jumlah kejadian kecelakaan kapal di APBS lima tahun terakhir :

Tabel 4.2 Data Kecelakaan Kapal di APBS

Jenis Kecelakaan	Kapal/Tahun					Total
	2009	2010	2011	2012	2013	
Kandas	0	5	1	2	2	10
Tenggelam	3	0	2	3	4	12
Terbakar	2	2	8	5	3	20
Tubrukan	2	24	5	2	15	48

Sumber : Kesyahbandaran Kelas Utama Cabang Tanjung Perak Surabaya, 2014



Grafik 4.3 Kecelakaan Kapal di APBS

Sumber : Kesyahbandaran Kelas Utama Cabang Tanjung Perak Surabaya, 2014

Dari tabel tersebut diketahui bahwa tubrukan kapal merupakan jenis kecelakaan yang paling sering terjadi dengan jumlah total kasus tubrukan kapal mencapai 48 kejadian sepanjang lima tahun terakhir ini. Untuk itu perlu dilakukan pengkajian lebih lanjut untuk mengatasi tingginya jumlah

kecelakaan kapal yang terjadi di APBS. Sehingga target pemerintah agar *zero accident* pada APBS melalui revitalisasi dapat diprediksi akan terpenuhi atau tidak melalui kajian yang dilakukan dengan metode pendekatan yang telah dipilih.

4.3. Integrasi Data *Automatic Identification System* (AIS)

Data yang akan digunakan dalam analisa berasal dari data yang diterima dan disimpan oleh perangkat AIS yang terdapat pada laboratoriu keandalan dan keselamatan Jurusan Teknik Sistem Perkapalan ITS. Perangkat AIS ini masih bisa menerima Sinyal kapal yang melintas hingga radius 50km dari kampus ITS. Perangkat AIS dapat memberikan informasi kepadatan lalu lintas tiap satuan waktu dan pola pergerakan kapal tersebut. Dari data yang *terecord* AIS tersebut dipilah data yang akan digunakan sebagai input dalam penelitian. Perangkat AIS dapat mengenali kapal lebih dari 500 GT pada rute domestik dan kapal lebih dari 300 GT pada rute pelayaran internasional. Dari AIS *receiver* kita dapat memperoleh data statis dan data dinamis. Data dinamis akan diperbarui setiap 2-10 detik, tergantung pada kecepatan kapal (Mawulu, 2013). Data statis yang dapat diperoleh adalah *MMSI (Maritime Mobile Service Identify)*, *IMO Number*, *ships name*, *call sign*, *length and beam*, *type of ship*, *location of position-fixing antenna on the B - 85 ship*. Informasi data dinamis terdiri dari *ships position*, *time in UTC*, *course over ground*, *speed over ground*, *heading and navigational status (The Complete Guide to AIS,2001)*.

MMSI number yang didapatkan dari data AIS adalah data yang akan digunakan sebagai acuan untuk menentukan tingkat kepadatan arus pelayaran di sekitar APBS. Berdasarkan hasil pengamatan dari beberapa penelitian sebelumnya, area yang berdekatan dengan pintu masuk Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya merupakan daerah yang rawan terhadap kecelakaan kapal, mengingat daerah tersebut merupakan pintu keluar masuknya kapal dan tempat parker kapal yang sedang menunggu waktu untuk bersandar di Pelabuhan Tanjung Perak.



Gambar 4.10 Tampilan pada AIS
(Stasiun Radio Pantai Kelas I Surabaya, 2014)

Data AIS yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah MMSI, kecepatan kapal, lebar kapal, *course over ground* (COG), *heading* dan posisi kapal (*longitude and latitude*). Setelah dilakukan pengumpulan data, maka dapat dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan probabilitas kecelakaan kapal, khususnya kasus tubrukan kapal. Berikut ini adalah contoh data AIS yang digunakan untuk perhitungan seperti ditunjukkan pada **tabel 4.3**:

Tabel 4.3 Data AIS Pada 31 Januari 2014

Date	Received Time	Messg ID	Repeat Indicator	MMSI	Navi Status	Rate of Turn	Speed Over Ground	Position Accuracy	Longitude	Latitude	Course Over Ground	True Heading	Regional Appl	RAIMflag	UTC Direct	Remaining Frame	UTC
14/01/31	6:00:00	1	0	525019623	0	0	0	0	112.731	-7.2	220	83	0	0	0	1	11:04:18 PM
14/01/31	6:00:01	1	0	525016081	0	999.9	0.1	0	112.714608	-7.18514	309.4	511	0	0	1	7	12:31:22 AM
14/01/31	6:00:02	1	0	525016148	0	-720	0.2	0	112.73375	7.185838	100.2	263	0	0	0	1	11:04:24 PM
14/01/31	6:00:03	1	0	525013018	0	0	0.1	0	112.66638	7.143007	207.3	330	0	0	0	4	2:52:26 AM
14/01/31	6:00:04	1	0	525007018	0	720	12.3	0	112.66116	7.053328	198.2	222	0	0	0	4	3:00:27 AM
14/01/31	6:00:05	1	0	525016663	0	999.9	0	0	112.714205	7.182082	167.6	511	0	0	0	3	12:34:25 AM
14/01/31	6:00:05	1	0	525025065	0	0	0.1	0	112.70539	-7.1858	184	341	0	1	0	0	4:54:27 AM
14/01/31	6:00:06	1	0	525025041	0	999.9	0	0	112.730742	7.206853	296.9	511	0	0	0	2	4:06:48 AM
14/01/31	6:00:06	1	0	525025010	8	999.9	0	0	112.732202	7.204248	280	511	0	1	0	5	12:29:26 AM
14/01/31	6:00:07	1	0	525024058	0	0	0	0	112.666462	7.157665	265	154	0	1	0	1	11:04:29 PM
14/01/31	6:00:07	1	0	525005054	0	0	0	0	112.733438	7.196228	265.2	259	0	0	0	1	11:04:43 PM
14/01/31	6:00:09	1	0	235060356	0	-2.2	0	0	112.7142	7.188517	349.3	259	0	0	0	6	2:38:30 AM
14/01/31	6:00:10	1	0	526063938	0	999.9	0	0	112.716708	7.185547	138.3	511	0	0	0	0	4:42:32 AM
14/01/31	6:00:10	1	0	525019623	0	0	0	0	112.731	-7.2	220	83	0	0	0	5	12:31:30 AM

4.4. Plotting Data AIS ke dalam GIS

Setelah dilakukan *record* data pergerakan kapal di sepanjang APBS, maka akan dilakukan *plotting* koordinat data AIS yang akan dianalisa dengan bantuan software QGIS (QuantumGIS). Data yang di dapat perangkat AIS disimpan dalam file dengan format “csv”. Dari sekian banyak data yang disimpan, dipilih data pada tanggal 31 Januari 2014 dimana terjadi tubrukan antara kapal Tanto Hari dengan MT Sirius, sehingga dapat dilakukan analisa terhadap kejadian tersebut. Selanjutnya data tersebut siap untuk diolah dalam *software* GIS.

4.5. Analisa Kepadatan Lalu Lintas di Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS)

Berdasarkan data (Kabar Bisnis, 2014) kepadatan *traffic* di APBS telah mencapai 43.000 kapal per tahun melebihi kapasitasnya yang hanya 27.000 kapal per tahun. Dengan tingginya kepadatan *traffic* yang ada dan data historis tubrukan kapal yang terjadi, maka perlu diketahui berapa kemampuan maksimum APBS dalam melayani arus kunjungan kapal.

4.5.1 Perhitungan Probabilitas Tubrukan Kapal dengan Metode *Traffic Based Models*

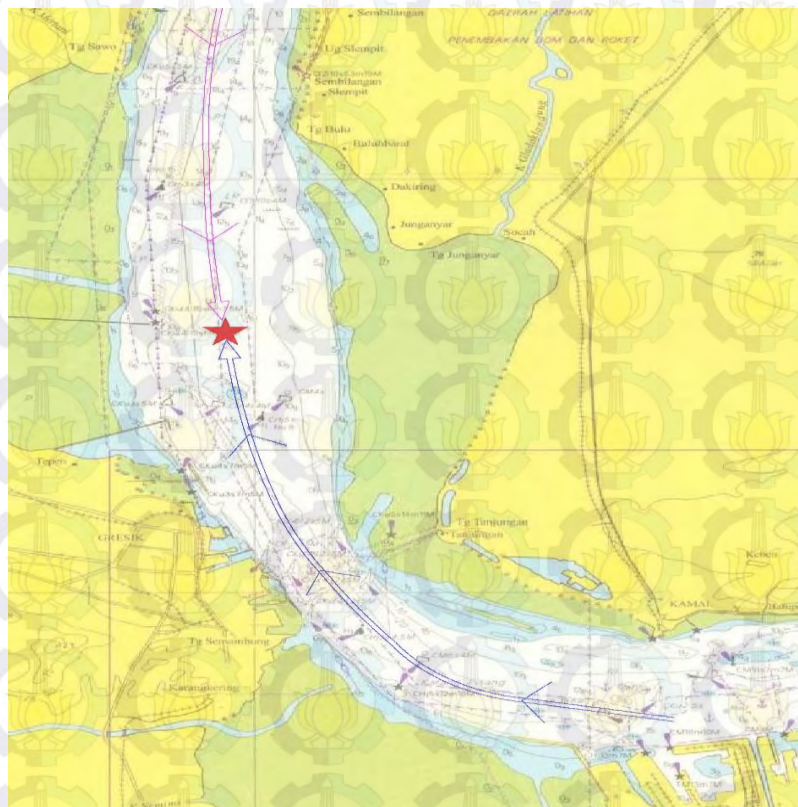
Pada tahun 1995, Kristiansen mulai memperkenalkan suatu metode untuk menghitung probabilitas tubrukan kapal, yaitu metode TBM (*Traffic Based Models*). *Traffic Based Models* merupakan pendekatan perhitungan frekuensi kecelakaan yang disesuaikan dengan standar teknis, keadaan lingkungan sekitar, dan kepadatan lalu lintas perairan pada suatu daerah (Kristiansen, 2005). Melalui metode ini dapat diestimasikan frekuensi kecelakaan tubrukan, kandas dan juga persinggungan pada suatu daerah secara spesifik.

Tubrukan merupakan benturan yang terjadi antara dua objek yang bergerak. Perhitungan peluang terjadinya tubrukan dapat dimodelkan menjadi tiga jenis yaitu tubrukan antar haluan kapal (*head on Collision*), tubrukan antara haluan dan lambung kapal (*crossing Collision*), dan tubrukan antara haluan dan buritan kapal (*overtaking Collision*). Berdasarkan data historis, sepanjang tahun 2013 terjadi 15 kali kecelakaan

kapal dengan rincian 8 kejadian tubrukan secara *crossing*, dan sisanya adalah secara *overtaking* dan *head on*. Dari data historis yang dimiliki tersebut, dilakukan perhitungan probabilitas tubrukan kapal di APBS yang dibagi dalam dua kelompok, yaitu *outer channel* dan *inner channel* dengan menggunakan metode *Traffic Based Models* seperti yang digagas oleh Kristiansen. *Outer* dan *Inner channel* ini masih terbagi masing-masing menjadi tiga *spot*, *outer channel* pada *spot* 0-6500, *spot* 6500-13000 dan *spot* 13000-19000, sedangkan *inner channel* pada *spot* 19000-30000, *spot* 30000-38000 dan *spot* 38000-43000.

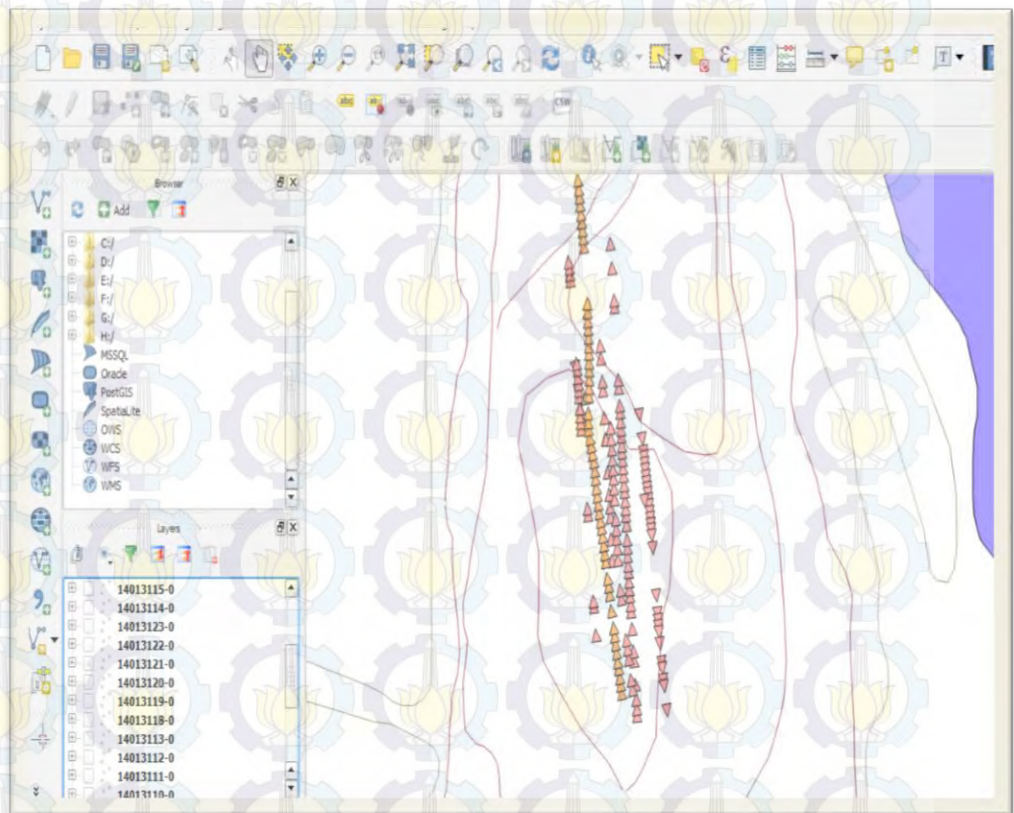
Pada Gambar 4.2 dapat dilihat pemodelan kecelakaan kapal *head on collision*, yang menunjukkan bahwa kapal tersebut masuk dalam alur pelayaran dengan lebar W . Kapal tersebut melaju secara berhadapan dengan kapal-kapal lain, dengan arah yang berlawanan. Hal tersebut memiliki potensi kecelakaan antar haluan kapal.

4.5.1.a. Tubrukan Kapal Secara *Head on*



Gambar 4.2 Skenario Tubrukan Kapal Secara *Head on* di APBS

Kapal yang melintasi alur pelayaran barat Surabaya terdiri dari berbagai jenis atau tipe kapal, diantaranya kapal *general cargo*, kapal tanker, kapal penumpang, kapal *container*, dan kapal ikan, baik yang menuju ke pelabuhan Tanjung Perak maupun keluar menuju kearah Karang Jemuang. *Head on Collision* berarti kapal yang bertabrakan berada pada jalur pelayaran yang sama namun berlawanan arah. Kapal yang dimungkinkan mengalami tubrukan adalah kapal yang menuju pelabuhan Tanjung Perak dengan kapal yang meninggalkan pelabuhan. Pada kasus ini, kapal yang saat itu berpapasan berdasarkan data AIS adalah kapal *Deck Cargo Ship* “Adinda Fadilla” dengan *passenger ship* “KM Gunung Dempo”, *bulk carrier* “Kwela”, *container ship* “Damai Sejahtera II”, *container ship* “Tanto Sayang” seperti tampak pada **gambar 4.3** berikut ini.



Gambar 4.3 Kapal yang Memiliki Peluang Untuk Bertabrakan Secara *Head on* Dari Hasil Plotting GIS

Berikut ini data kapal yang terlibat dalam skenario tubrukan secara *head on*:

Tabel 4.4 Data *Target Ship* pada Skenario Tubrukan *Head On*

Target Ship			
Adinda Fadilla			
L	=	82	meter
B	=	21	meter
V	=	6.5	knot
Jenis	=	Deck Cargo Ship	
MMSI	=	525018110	

Tabel 4.5 Data *Own Ship* pada Skenario Tubrukan *Head On*

Ownship							
Gunung Dempo				Kwela			
L	=	147	meter	L	=	169	meter
B	=	23	meter	B	=	28	meter
V	=	13.9	knot	V	=	10.5	knot
Jenis	=	Passenger Ship		Jenis	=	Bulk Carrier	
MMSI	=	525005054		MMSI	=	355866000	
Ownship							
Damai Sejahtera II				Tanto Sayang			
L	=	120	meter	L	=	105	meter
B	=	22	meter	B	=	19	meter
V	=	8.7	knot	V	=	6.8	knot
Jenis	=	Container Ship		Jenis	=	Container Ship	
MMSI	=	525003137		MMSI	=	525016079	

Pada skenario ini dideskripsikan bahwa sebuah kapal memasuki APBS menuju Pelabuhan Tanjung Perak dan berpapasan dengan sekelompok kapal lain yang keluar dari APBS menuju kearah Karang Jamuang, yang kemudian terjadi tubrukan yang kemungkinan disebabkan oleh :

- Faktor Teknis seperti terjadinya overheat pada mesin, sehingga mesin harus mati.
- *Human Error* yang menyebabkan kegagalan dalam bernavigasi seperti gagal mengawasi arah pergerakan kapal, sehingga tidak dapat menghindari tubrukan.

- Faktor alam yaitu arus kuat, angin kencang maupun gelombang tinggi yang menyebabkan sulitnya olah gerak kapal dan kapal menjadi kehilangan kontrol.

Tabel 4.6 Peluang Kegagalan Kapal yang Menyebabkan Tubrukan Secara *Head On*

<i>Overheat</i>	<i>Technical Failure</i>	<i>Human error</i>	<i>External Factor</i>	<i>Other Ship</i>	<i>Head On</i>
				Y 1.33E-01	1.76E-06
			Y 3.33E-01		
	Y 4.44E-03	1.33E-01		N 8.67E-01	1.71E-04
			N 6.67E-01		3.95E-04
6.67E-02		N 8.67E-01			3.85E-03
N 9.96E-01					9.96E-01

*Nilai 1.76×10^{-6} digunakan sebagai nilai P_c

Urutan kejadian skenario tubrukan kapal secara *head on* adalah sebagai berikut :

1. Kapal Adinda Fadilla dari arah Karang Jamuang hendak menuju Pelabuhan Tanjung Perak mengalami *overheat* pada mesin, sehingga mesin harus mati. Dan ABK kapal Adinda Fadilla berusaha mengendalikan kapal kapal tapi tidak berhasil. Pada saat itu lalu lintas di APBS sedang padat, dan kondisi arus cukup kuat.
2. Sekelompok kapal yaitu kapal Gunung Dempo, Damai Sejahtera II, Kwela dan Tanto Sayang dari arah Pelabuhan Tanjung Perak melintas didekat kapal yang sedang *overheat*, karena ABK kapal Adinda Fadilla gagal mengawasi arah pergerakan karena pengaruh arus yang cukup kuat, kapal Adinda Fadilla terseret arus sehingga terjadi tubrukan.

Dalam melakukan perhitungan probabilitas, dengan menggunakan persamaan 2.22 s.d persamaan 2.25 dari Bab-2 diperoleh hasil perhitungan N_i (*the impact probability for on coming traffic*) yang dapat dilihat pada tabel 4.3 dan tabel 4.4, sedangkan untuk nilai P_a (*the Probability of head-on collision*) atau kemungkinan yang dimiliki kapal yang melintas pada suatu daerah pelayaran, didapat dengan mengalikan N_i dengan P_c (*probability of losing control*) yaitu probabilitas/kemungkinan kesalahan dalam mengendalikan kapal sehingga terjadi tubrukan. Nilai P_c dapat ditentukan berdasarkan data *history* kecelakaan kapal tahun sebelumnya yaitu dengan memprosentasekan jumlah kegagalan yang menjadi penyebab kecelakaan menjadi faktor P_c tersebut. Faktor kegagalan yang dimaksud diantaranya adalah, kesalahan teknis seperti mesin *overheat*, kesalahan dalam pemanduan, kesalahan dalam bernavigasi, gagal mengawasi arah pergerakan kapal, faktor alam (arus dan gelombang), dan kegagalan yang disebabkan oleh kapal lain. Nilai P_c untuk head on didapat 1.76×10^{-6} . N_a (*the expected number of head on collision*) atau kemungkinan jumlah kapal yang akan bertubrukan selama satu tahun diperoleh dengan mengalikan nilai P_a dengan dengan kepadatan kapal per jam kemudiann dikalikan 24 jam dalam sehari dikalikan lagi dengan jumlah hari dalam 1 tahun (365)

Tabel 4.7 Perhitungan *Head-On Collision* pada *Outer Channel (Traffic Based Models)*

Outer Channel-Head On	Spot	V1 m/s	V2 m/s	B1 mtr	B2 mtr	Nm ship/hr	W mtr	D mtr	ρ ships/m ²	P_c	Ni	Pa	Na acc/year
	0-6500	5.1272	3.341	23	21	4	100	6523	0.0078	1.76E-06	11.069	1.94E-05	0.681
6500-13000	5.1272	3.341	23	21	4	100	6486	0.0078	1.76E-06	11.007	1.93E-05	0.677	
13000-19000	5.1272	3.341	23	21	4	100	6009	0.0078	1.76E-06	10.197	1.79E-05	0.627	

Outer Channel-Head On	Spot	V1 m/s	V2 m/s	B1 mtr	B2 mtr	Nm ship/hr	W mtr	D mtr	ρ ships/m ²	P_c	Ni	Pa	Na acc/year
	0-6500	5.1272	3.341	23	21	4	150	6523	0.0052	1.76E-06	4.920	8.64E-06	0.303
6500-13000	5.1272	3.341	23	21	4	150	6486	0.0052	1.76E-06	4.892	8.59E-06	0.301	
13000-19000	5.1272	3.341	23	21	4	150	6009	0.0052	1.76E-06	4.532	7.96E-06	0.279	

Outer Channel-Head On	Spot	V1 m/s	V2 m/s	B1 mtr	B2 mtr	Nm ship/hr	W mtr	D mtr	ρ ships/m ²	P_c	Ni	Pa	Na acc/year
	0-6500	5.1272	3.341	23	21	4	200	6523	0.0039	1.76E-06	2.767	4.86E-06	0.170
6500-13000	5.1272	3.341	23	21	4	200	6486	0.0039	1.76E-06	2.752	4.83E-06	0.169	
13000-19000	5.1272	3.341	23	21	4	200	6009	0.0039	1.76E-06	2.549	4.48E-06	0.157	

Tabel 4.8 Perhitungan *Head-On Collision* pada *Inner Channel (Traffic Based Models)*

Inner Channel-Head On	Spot	V1	V2	B1	B2	Nm	W	D	ρ	P_c	Ni	Pa	Na
		m/s	m/s	mtr	mtr	ship/hr	mtr	mtr	ships/m2				acc/year
	19000-30000	5.1272	3.34	23	21	4	100	11024.3	0.0078	1.76E-06	18.708	3.28E-05	1.151
	30000-38000	5.1272	3.34	23	21	4	100	8057.5	0.0078	1.76E-06	13.673	2.40E-05	0.841
	38000-43000	5.1272	3.34	23	21	4	100	5028.6	0.0078	1.76E-06	8.533	1.50E-05	0.525

Inner Channel-Head On	Spot	V1	V2	B1	B2	Nm	W	D	ρ	P_c	Ni	Pa	Na
		m/s	m/s	mtr	mtr	ship/hr	mtr	mtr	ships/m2				acc/year
	19000-30000	5.1272	3.34	23	21	4	150	11024.3	0.0052	1.76E-06	8.315	1.46E-05	0.512
	30000-38000	5.1272	3.34	23	21	4	150	8057.5	0.0052	1.76E-06	6.077	1.07E-05	0.374
	38000-43000	5.1272	3.34	23	21	4	150	5028.6	0.0052	1.76E-06	3.793	6.66E-06	0.233

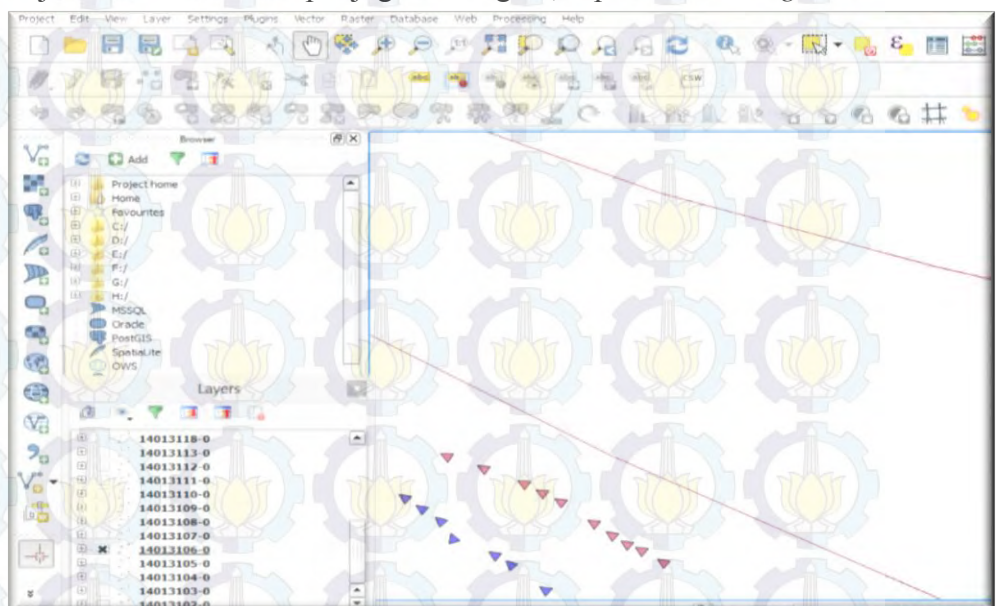
Inner Channel-Head On	Spot	V1	V2	B1	B2	Nm	W	D	ρ	P_c	Ni	Pa	Na
		m/s	m/s	mtr	mtr	ship/hr	mtr	mtr	ships/m2				acc/year
	19000-30000	5.1272	3.34	23	21	4	200	11024.3	0.0039	1.76E-06	4.677	8.21E-06	0.288
	30000-38000	5.1272	3.34	23	21	4	200	8057.5	0.0039	1.76E-06	3.418	6.00E-06	0.210
	38000-43000	5.1272	3.34	23	21	4	200	5028.6	0.0039	1.76E-06	2.133	3.75E-06	0.131

4.5.1.b. Tubrukan Kapal Secara *Overtaking*



Gambar 4.4 Skenario Tubrukan Kapal Secara *Overtaking* di APBS

Keberadaan Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya sebagai pintu gerbang perekonomian Jawa Timur turut andil dalam peningkatan aktivitas kapal di Alur Pelayaran Barat Surabaya. Setiap hari kapal-kapal hilir mudik melintasi APBS. Dengan banyaknya jumlah kapal yang melintas, tak pelak jumlah kejadian kecelakaan kapal juga meningkat, seperti *overtaking collision*.



Gambar 4.5 Kapal yang Memiliki Peluang Untuk Bertubrukan Secara *Overtaking* Dari Hasil Plotting GIS

Berikut adalah data kapal yang terlibat dalam tubrukan secara *overtaking* :

Tabel 4.9 Data Target Ship pada Skenario Tubrukan Overtaking

Target Ship			
Jinyunhe			
L	=	172	meter
B	=	28	meter
V	=	5.1	knot
Jenis	=	Container Ship	
MMSI	=	353241000	

Tabel 4.10 Data Own Ship pada Skenario Tubrukan Overtaking

Ownship			
Dharma Bali-03			
L	=	29	meter
B	=	10	meter
V	=	5.5	knot
Jenis	=	Container Ship	
MMSI	=	525016079	

Tubrukan secara *overtaking* yang terjadi dapat disebabkan oleh beberapa kemungkinan, diantaranya :

- Faktor *Human Error*, seperti adanya faktor kelelahan dari perwira, pengaruh alkohol sehingga kesadaran menurun dan perwira gagal mengendalikan kecepatan kapal.
- Faktor alam, diantaranya adanya arus yang kuat dan angin yang kencang yang menyeret kapal sehingga menubruk kapal lain yang berada di dekatnya.

Tabel 4.11 Peluang Kegagalan Kapal yang Menyebabkan Tubrukan Secara Overtaking

<i>Ship Speed Control Error</i>	<i>Technical Failure</i>	<i>External Factor</i>	<i>Other Ship</i>	<i>Overtaking</i>
			Y	1.33E-01
		Y	3.33E-01	3.95E-04
Y	6.67E-02		N	8.67E-01
		N	6.67E-01	1.93E-02
1.33E-01				4.44E-02
	N			9.33E-01
	9.33E-01			



*Nilai $3.95E-04$ digunakan sebagai nilai P_c

Urutan kejadian skenario tubrukan kapal secara *overtaking* adalah sebagai berikut :

1. Dua buah kapal yaitu kapal Jinyunhe dan Dharma Bali-03 berangkat dari Pelabuhan Tanjung Perak dengan posisi saling menyusul.
2. Pada saat itu kapal Dharma Bali-03 hendak menyusul kapal Jinyunhe, ketika menyusul ternyata perwira gagal mengontrol kecepatan kapal dan gagal memperkirakan haluan kapal, sehingga kapal Dharma Bali-03 malah menubruk kapal Jinyunhe.

Tabel 4.12 Perhitungan *Overtaking Collision* pada *Outer Channel (Traffic Based Models)*

Overtaking-Outer Channel	Spot	V1 m/s	V2 m/s	B1 mtr	B2 mtr	Nm ship/hr	W mtr	ρ ships/m ²	D mtr	P_c	Ni	Pa	Na acc/year
	0-6500	2.827	2.6214	10	28	2	100	0.00707	6522.9	3.95E-04	0.04865108	1.92E-05	0.168
	6500-13000	2.827	2.6214	10	28	2	100	0.00707	6486	3.95E-04	0.04837586	1.91E-05	0.167
	13000-19000	2.827	2.6214	10	28	2	100	0.00707	6009.2	3.95E-04	0.04481965	1.77E-05	0.155

Overtaking-Outer Channel	Spot	V1 m/s	V2 m/s	B1 mtr	B2 mtr	Nm ship/hr	W mtr	ρ ships/m ²	D mtr	P_c	Ni	Pa	Na acc/year
	0-6500	2.827	2.6214	10	28	2	150	0.00472	6522.9	3.95E-04	0.02162270	8.54E-06	0.075
	6500-13000	2.827	2.6214	10	28	2	150	0.00472	6486	3.95E-04	0.02150038	8.49E-06	0.074
	13000-19000	2.827	2.6214	10	28	2	150	0.00472	6009.2	3.95E-04	0.01991984	7.87E-06	0.069

Overtaking-Outer Channel	Spot	V1 m/s	V2 m/s	B1 mtr	B2 mtr	Nm ship/hr	W mtr	ρ ships/m ²	D mtr	P_c	Ni	Pa	Na acc/year
	0-6500	2.827	2.6214	10	28	2	200	0.00354	6522.9	3.95E-04	0.01216277	4.81E-06	0.042
	6500-13000	2.827	2.6214	10	28	2	200	0.00354	6486	3.95E-04	0.01209397	4.78E-06	0.042
	13000-19000	2.827	2.6214	10	28	2	200	0.00354	6009.2	3.95E-04	0.01120491	4.43E-06	0.039

Tabel 4.13 Perhitungan *Overtaking Collision* pada *Inner Channel (Traffic Based Models)*

Overtaking-Inner Channel	Spot	V1 m/s	V2 m/s	B1 mtr	B2 mtr	Nm ship/hr	W mtr	ρ ships/m2	D mtr	P_c	Ni	Pa	Na acc/year
	19000-30000	2.827	2.6214	10	28	2	100	0.00707464	11024.3	3.95E-04	0.0822248	3.25E-05	0.285
	30000-38000	2.827	2.6214	10	28	2	100	0.00707464	8057.5	3.95E-04	0.0600969	2.37E-05	0.208
	38000-43000	2.827	2.6214	10	28	2	100	0.00707464	5028.6	3.95E-04	0.0375058	1.48E-05	0.130

Overtaking-Inner Channel	Spot	V1 m/s	V2 m/s	B1 mtr	B2 mtr	Nm ship/hr	W mtr	ρ ships/m2	D mtr	P_c	Ni	Pa	Na acc/year
	19000-30000	2.827	2.6214	10	28	2	150	0.00471642	11024.3	3.95E-04	0.0365444	1.44E-05	0.253
	30000-38000	2.827	2.6214	10	28	2	150	0.00471642	8057.5	3.95E-04	0.0267097	1.06E-05	0.185
	38000-43000	2.827	2.6214	10	28	2	150	0.00471642	5028.6	3.95E-04	0.0166693	6.59E-06	0.115

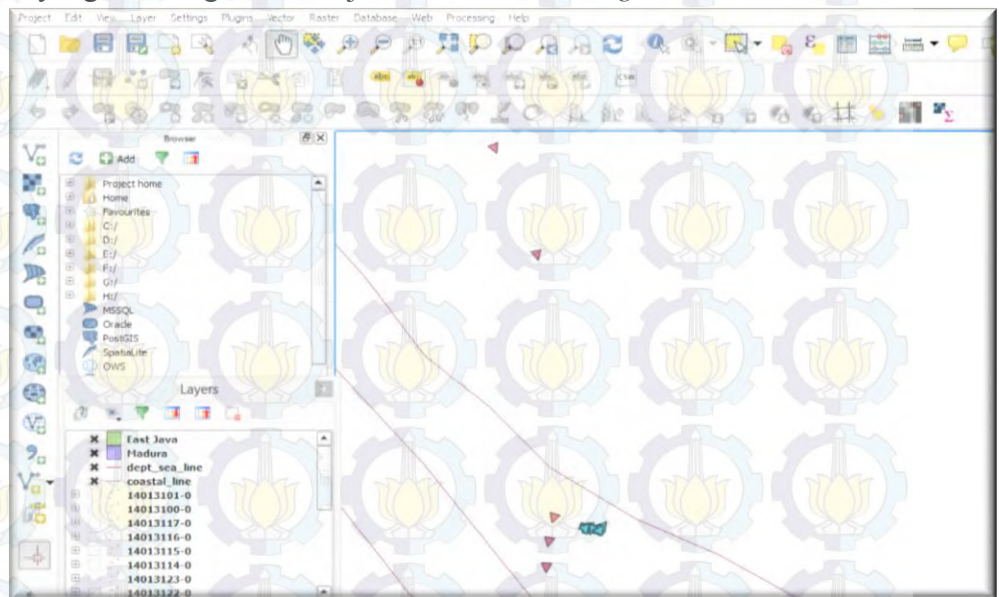
Overtaking-Inner Channel	Spot	V1 m/s	V2 m/s	B1 mtr	B2 mtr	Nm ship/hr	W mtr	ρ ships/m2	D mtr	P_c	Ni	Pa	Na acc/year
	19000-30000	2.827	2.6214	10	28	2	200	0.00353732	11024.3	3.95E-04	0.0205562	8.12E-06	0.142
	30000-38000	2.827	2.6214	10	28	2	200	0.00353732	8057.5	3.95E-04	0.0150242	5.94E-06	0.104
	38000-43000	2.827	2.6214	10	28	2	200	0.00353732	5028.6	3.95E-04	0.0093765	3.70E-06	0.065

4.5.1.c. Tubrukan Kapal Secara *Crossing*



Gambar 4.6 Skenario Tubrukan Kapal Secara *Crossing* di APBS

Padatnyalu lintas di APBS membuat banyak kapal secara bergantian keluar masuk pelabuhan memungkinkan terjadinya tubrukan. *Crossing Collision* akan terjadi bila kapal lain berlayar memotong lintasan. Berikut ini adalah *plotting* data AIS pada GIS yang ditemukan satu pergerakan yang memungkinkan terjadi tubrukan *crossing*.



Gambar 4.7 Kapal yang Memiliki Peluang Untuk Bertubrukan Secara *Crossing* Dari Hasil *Plotting* GIS

Tabel 4.14 Data *Target Ship* pada Skenario Tubrukan *Crossing*

Target Ship			
Sirius			
L	=	80	meter
B	=	14	meter
V	=	11.6	knot
Jenis	=	Chemical Oil Tanker	
MMSI	=	525023202	

Tabel 4.15 Data *Own Ship* pada Skenario Tubrukan *Crossing*

Ownship			
Tanto Hari			
L	=	126	meter
B	=	20	meter
V	=	6.3	knot
Jenis	=	General Cargo	
MMSI	=	525015966	

Untuk mencari nilai probabilitas terjadinya tubrukan pada model ini maka persamaan yang digunakan adalah **persamaan-2.30** s.d **persamaan 2.33** pada bab-2. Pada skenario ini, dideskripsikan bahwa kapal yang akan menuju Pelabuhan Tanjung Perak akan menubruk kapal lain yang sedang berlabuh. Tubrukan secara *crossing* yang terjadi dapat disebabkan oleh beberapa kemungkinan, diantaranya :

- Kesalahan Teknis, seperti kesalahan eksternal *communication* dengan kapal lain yang berada di sekitarnya, tidak berfungsinya alat navigasi sebagaimana mestinya.
- *Human Error* yang disebabkan oleh kegagalan perwira untuk mengawasi arah pergerakan kapal untuk menghindari tubrukan.
- Faktor alam, diantaranya adanya arus yang kuat dan angin yang kencang.

Tabel 4.16 Peluang Kegagalan Kapal yang Menyebabkan Tubrukan Secara *Crossing*

<i>Failure on Other Ship</i>	<i>Technical Failure</i>	<i>Human error</i>	<i>External Factor</i>	<i>Crossing</i>
			Y 3.33E-01	1.32E-05
		Y 1.33E-01		
Y 4.44E-03	6.67E-02		N 6.67E-01	5.93E-03
		N 8.67E-01		5.78E-02
N	9.33E-01			9.33E-01

*Nilai 1.32E-05 digunakan sebagai nilai P_c

Urutan kejadian skenario tubrukan kapal secara *crossing* adalah sebagai berikut :

1. Kapal Tanto Hari bertolak dari pelabuhan Ambon hendak menuju ke Pelabuhan Tanjung Perak.
2. Setelah tiba di Karang Jamuang Kapal Tanto Hari melaporkan ke *pilot station* Karang Jamuang untuk kontak Pandu.
3. Kapal Tanto Hari masuk ke Rede Gresik dan menginformasikan ke kepanduan Surabaya dan Nahkoda Tanto Hari diperintahkan membawa masuk sampai di *buoy* 10.
4. Saat Kapal Tanto Hari maju pelan, tiba-tiba pada saat bersamaan angin berhembus dengan kencang dan menyeret Kapal Tanto Hari sehingga larat dan mendekati Kapal Sirius yang ada di dekatnya.
5. Sehingga karena kurang tidak mampu mengendalikan pergerakan kapal, akhirnya tubrukan dengan Kapal Sirius tak terhindarkan.

Tabel 4.17 Perhitungan *Crossing Collision* pada *Outer Channel (Traffic Based Models)*

Outer Channel-Crossing	Spot	V1	V2	B1	B2	Nm	W	ρ	D	Pc	Pi	Pa	Na
		m/s	m/s	mtr	mtr	ship/hr	mtr	ships/m2	mtr				acc/year
	0-6500	3.2382	5.9624	20	14	2	100	3.33E-06	6522.9	1.32E-05	1.2119	1.60E-05	0.280
	6500-13000	3.2382	5.9624	20	14	2	100	3.33E-06	6486	1.32E-05	1.2050	1.59E-05	0.278
	13000-19000	3.2382	5.9624	20	14	2	100	3.33E-06	6009.2	1.32E-05	1.1164	1.47E-05	0.258

Outer Channel-Crossing	Spot	V1	V2	B1	B2	Nm	W	ρ	D	Pc	Pi	Pa	Na
		m/s	m/s	mtr	mtr	ship/hr	mtr	ships/m2	mtr				acc/year
	0-6500	3.2382	5.9624	20	14	2	150	2.22E-06	6522.9	1.32E-05	0.8079	1.06E-05	0.186
	6500-13000	3.2382	5.9624	20	14	2	150	2.22E-06	6486	1.32E-05	0.8034	1.06E-05	0.185
	13000-19000	3.2382	5.9624	20	14	2	150	2.22E-06	6009.2	1.32E-05	0.7443	9.80E-06	0.172

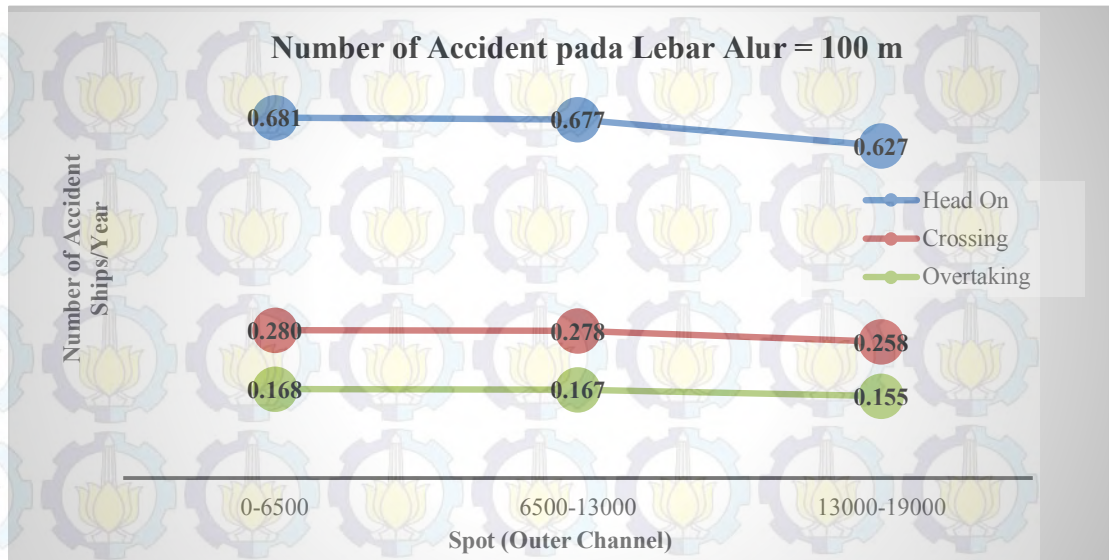
Outer Channel-Crossing	Spot	V1	V2	B1	B2	Nm	W	ρ	D	Pc	Pi	Pa	Na
		m/s	m/s	mtr	mtr	ship/hr	mtr	ships/m2	mtr				acc/year
	0-6500	3.2382	5.9624	20	14	2	200	1.67E-06	6522.9	1.32E-05	0.60594	7.98E-06	0.140
	6500-13000	3.2382	5.9624	20	14	2	200	1.67E-06	6486	1.32E-05	0.60252	7.93E-06	0.139
	13000-19000	3.2382	5.9624	20	14	2	200	1.67E-06	6009.2	1.32E-05	0.55822	7.35E-06	0.129

Tabel 4.18 Perhitungan *Crossing Collision* pada *Inner Channel (Traffic Based Models)*

Inner Channel-Crossing	Spot	V1	V2	B1	B2	Nm	W	ρ	D	Pc	Pi	Pa	Na
		m/s	m/s	mtr	mtr	ship/hr	mtr	ships/m2	mtr				acc/year
	0-6500	3.2382	5.9624	20	14	2	100	3.33E-06	11024.3	1.32E-05	2.5114	3.31E-05	0.579
	6500-13000	3.2382	5.9624	20	14	2	100	3.33E-06	8057.5	1.32E-05	1.8356	2.42E-05	0.423
	13000-19000	3.2382	5.9624	20	14	2	100	3.33E-06	5028.6	1.32E-05	1.1456	1.51E-05	0.264

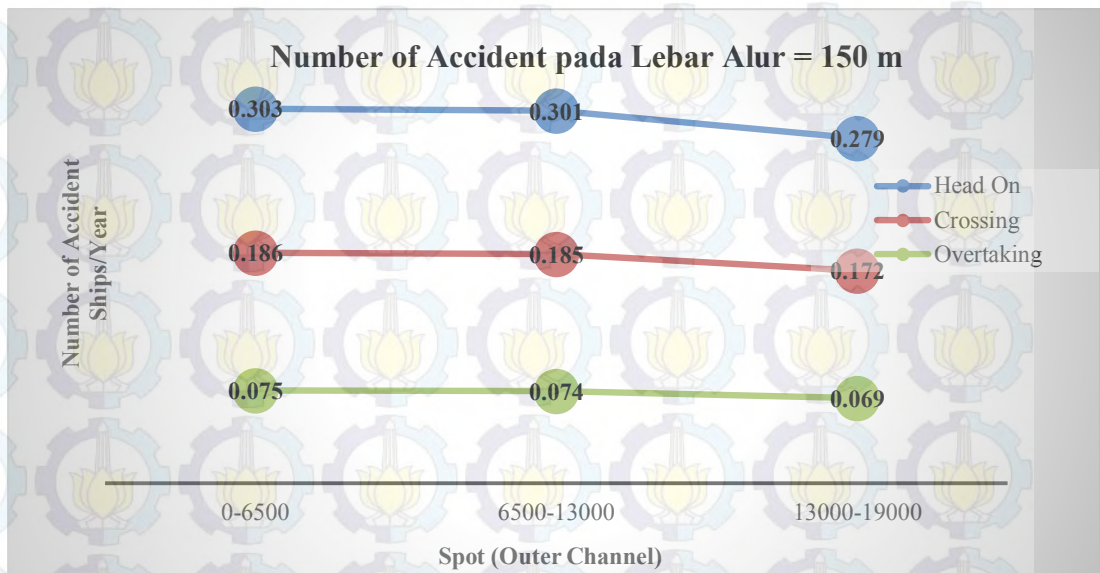
Inner Channel-Crossing	Spot	V1	V2	B1	B2	Nm	W	ρ	D	Pc	Pi	Pa	Na
		m/s	m/s	mtr	mtr	ship/hr	mtr	ships/m2	mtr				acc/year
	0-6500	3.2382	5.9624	20	14	2	150	2.22E-06	11024.3	1.32E-05	1.6743	2.20E-05	0.386
	6500-13000	3.2382	5.9624	20	14	2	150	2.22E-06	8057.5	1.32E-05	1.2237	1.61E-05	0.282
	13000-19000	3.2382	5.9624	20	14	2	150	2.22E-06	5028.6	1.32E-05	0.7637	1.01E-05	0.176

Inner Channel-Crossing	Spot	V1	V2	B1	B2	Nm	W	ρ	D	Pc	Pi	Pa	Na
		m/s	m/s	mtr	mtr	ship/hr	mtr	ships/m2	mtr				acc/year
	0-6500	3.2382	5.9624	20	14	2	200	1.67E-06	11024.3	1.32E-05	1.2557	1.65E-05	0.290
	6500-13000	3.2382	5.9624	20	14	2	200	1.67E-06	8057.5	1.32E-05	0.9178	1.21E-05	0.212
	13000-19000	3.2382	5.9624	20	14	2	200	1.67E-06	5028.6	1.32E-05	0.5728	7.54E-06	0.132



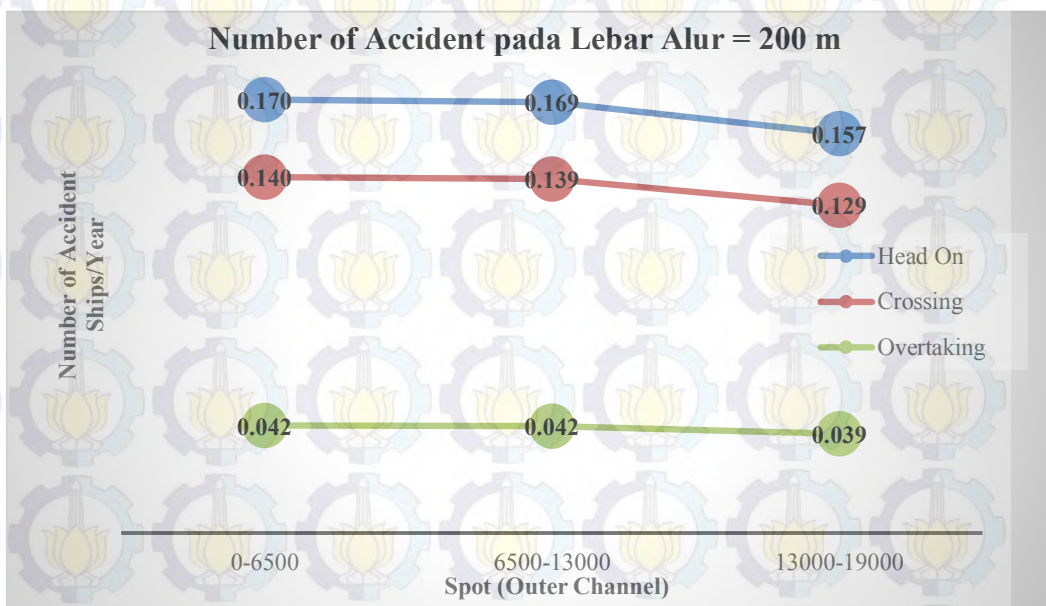
Grafik 4.4 *Number of Accident pada Outer Channel, Lebar Alur = 100 meter*

Berdasarkan grafik di atas, tampak bahwa jenis tubrukan yang paling sering terjadi di *Outer Channel* adalah *head on collision* terutama di spot 0-6500 yaitu di sekitar Karang Jamuang yang merupakan pintu masuk APBS. Untuk lebar alur 100 meter ini probabilitas tubrukan mencapai 0.681 kejadian per tahun untuk *head on*, 0.280 kejadian per tahun untuk *crossing* dan 0.168 kejadian per tahun untuk *overtaking collision*. Hal ini terjadi karena kepadatan *traffic* kapal di ujung APBS ini cukup tinggi, dimana kapal-kapal dari berbagai daerah akan melewati APBS, ada kapal yang pergi atau keluar dari APBS, adapula kapal yang masuk melintasi, sehingga sangat memungkinkan terjadi tubrukan secara *head on* dengan peluang yang cukup tinggi. Kondisi berbeda akan tampak pada grafik selanjutnya, dimana ketika alur diperlebar menjadi 150 meter, peluang kejadian tubrukan kapal menurun. Hal ini terjadi dikarenakan dengan kondisi lebar alur menjadi 150 meter, olah gerak kapal akan lebih leluasa dan tidak terbatas seperti pada ketika lebar alur hanya 100 meter. Sehingga kapal lebih dapat dikontrol dan peluang untuk bertubrukan dengan kapal lain akan menurun. Menurunnya peluang kejadian tubrukan kapal ditunjukkan pada grafik di bawah ini.



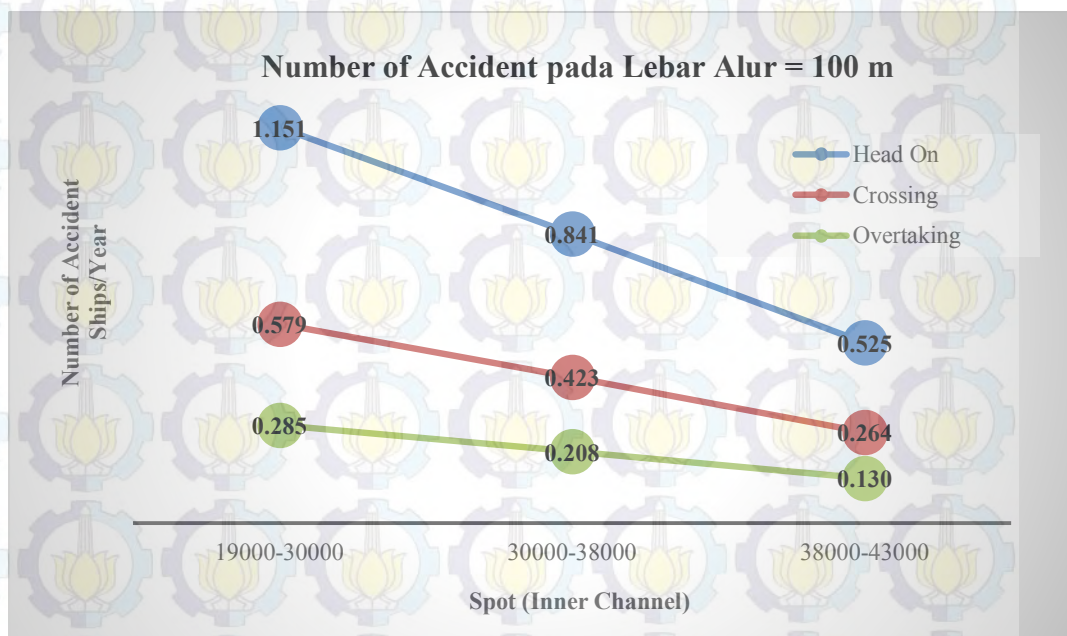
Grafik 4.5 Number of Accident pada Outer Channel, Lebar Alur = 150 meter

Dengan adanya pelebaran alur dari 100 meter menjadi 150 meter, tampak bahwa terjadi penurunan jumlah kejadian tubrukan kapal, baik secara *head on*, *overtaking* maupun *crossing*. Pada kondisi eksisting lebar alur 100 meter, perkiraan jumlah kecelakaan di spot 0-6500 mencapai 0.681 kejadian pertahun, sedangkan setelah dilebarkan 150 meter, perkiraan jumlah kecelakaan yang terjadi menjadi 0.303 kejadian per tahun. Hal serupa juga terjadi pada perhitungan probabilitas tubrukan pada lebar alur 200 meter yang ditunjukkan pada grafik berikut ini.



Grafik 4.6 Number of Accident pada Outer Channel, Lebar Alur = 200 meter

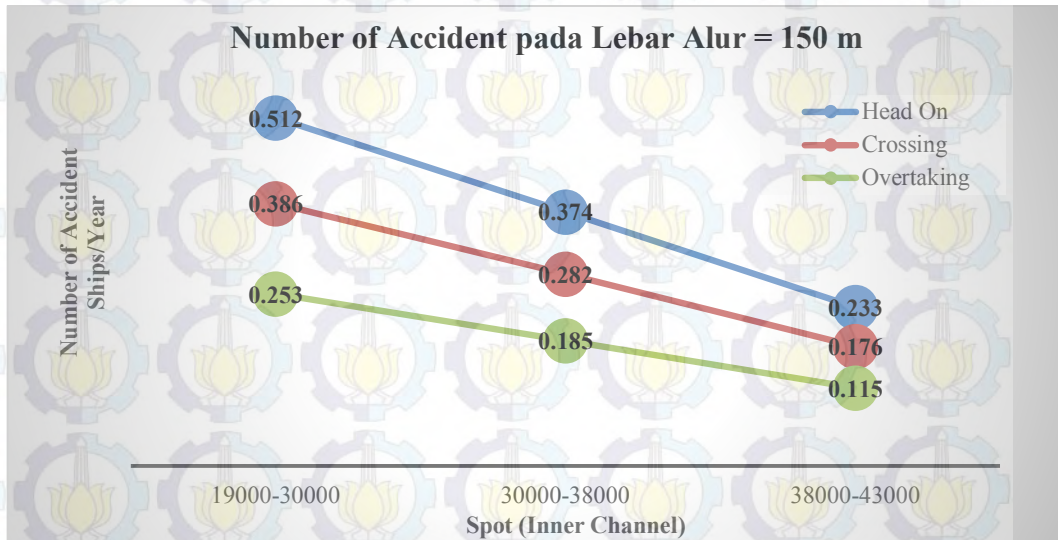
Probabilitas tubrukan kapal pada spot 0-6500 dengan lebar alur 200 meter tampak menurun bila dibandingkan dengan grafik sebelumnya, yaitu pada lebar alur 100 dan 150 meter. Pada lebar alur 200 meter tampak bahwa probabilitas tubrukan kapal memiliki nilai yang paling kecil. Perhitungan probabilitas kecelakaan kapal pada lebar 200 meter menjadi 0.170 kecelakaan per tahun. Hal ini dapat terjadi karena dengan kondisi alur yang semakin lebar, maka jarak antar kapal yang berpapasan maupun bersimpangan juga semakin lebar, dan olah gerak kapal juga semakin leluasa, sehingga kemungkinan kapal bersenggolan dengan kapal lain juga semakin kecil. Hal ini memang belum memenuhi target yang ingin dicapai pemerintah untuk mewujudkan *zero accidents* di APBS setelah dilakukan revitalisasi. Namun diharapkan setelah dilakukan revitalisasi alur ini dan dilakukan pengerukan hingga kedalaman alur mencapai -14 LWS, kejadian kecelakaan setidaknya dapat diminimalkan.



Grafik 4.7 *Number of Accident* pada *Inner Channel*, Lebar Alur = 100 meter

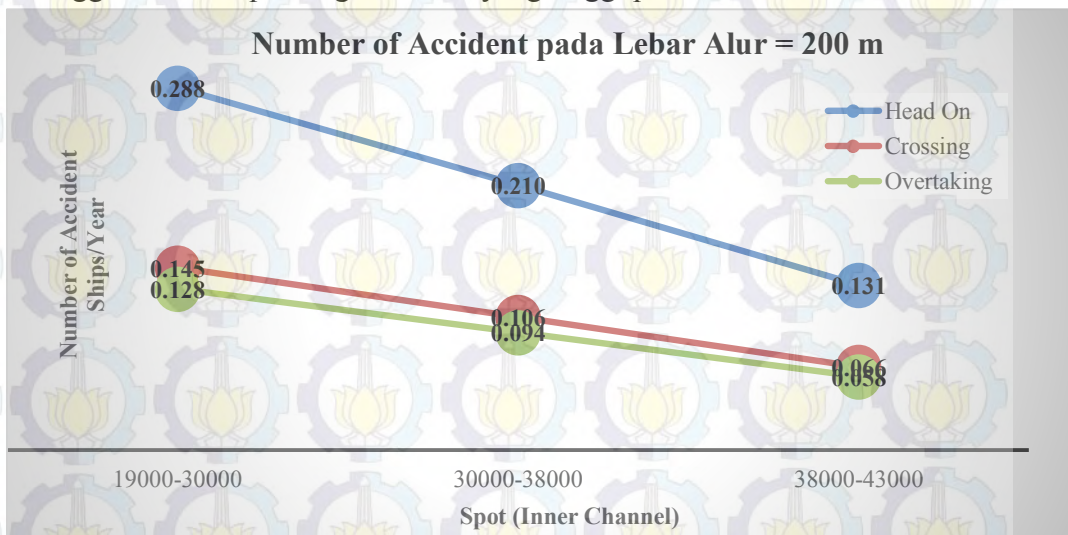
Melihat hasil perhitungan probabilitas tubrukan di atas, lokasi *inner channel* memang memiliki nilai yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan lokasi *outer channel*, hal ini disebabkan oleh banyaknya jumlah pelabuhan yang berada di *inner channel* APBS, sehingga menyebabkan semakin terbatasnya olah gerak dan jarak antar kapal yang semakin dekat, sehingga bila angin dan arus cukup kencang,

dapat menyebabkan tubrukan dengan kapal lain akibat padatnya lalu lintas kapal di *inner channel* tersebut. Nilai N_a pada *inner channel* untuk kondisi *head on spot* 19000-30000 mencapai 0.845 kejadian yang diikuti oleh jumlah *crossing* sebanyak 0.579 kejadian dan nilai N_a terendah untuk *overtaking* sejumlah 0.285 kejadian.



Grafik 4.8 *Number of Accident pada Inner Channel, Lebar Alur = 150 meter*

Demikian halnya pada grafik hasil perhitungan probabilitas tubrukan di atas, lokasi *inner channel*, dengan adanya pelebaran alur menjadi 150 meter, probabilitas tubrukan kapal menurun dan *spot* 19000-30000 merupakan *spot* dengan nilai tertinggi, hal ini disebabkan oleh banyaknya pelabuhan di sekitar *spot* 19000-30000, yang tentu memiliki kepadatan arus keluar masuk kapal yang tinggi, sehingga memiliki peluang tubrukan yang tinggi pula.



Grafik 4.9 *Number of Accident pada Inner Channel, Lebar Alur = 200 meter*

Probabilitas tubrukan kapal untuk *inner channel* dengan lebar alur 200 meter, memiliki nilai yang paling rendah. Untuk kejadian tubrukan *head on* sejumlah 0.288 kejadian, *crossing* 0.145 kejadian, dan *overtaking* 0.128. Dari beberapa grafik yang telah ditampilkan di atas, dapat disimpulkan bahwa pelebaran alur, yaitu APBS menjadi 200 meter melalui pendekatan dengan metode TBM, membuktikan bahwa semakin lebar alur, maka probabilitas kecelakaan kapal khususnya tubrukan kapal semakin kecil. Dan dari *dua channel*, *inner channel* merupakan lokasi dengan tingkat bahaya tubrukan kapal yang paling tinggi, mengingat lokasi *inner channel* sangat dipadati oleh kapal-kapal, karena banyak pelabuhan berada di *inner channel* terutama di *spot* 19000-30000.

4.5.2 Perhitungan Probabilitas Tubrukan Kapal dengan Metode *Minimum*

Distance To Collision (MDTC)

Untuk perhitungan peluang tubrukan yang kedua dilakukan dengan menggunakan metode *Minimum Distance To Collision*. Pada perhitungan ini, parameter yang paling penting adalah jumlah kapal yang melintas atau dapat diasumsikan sebagai kepadatan di daerah yang diteliti yaitu di Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS) dan panjang lintasan yang dilalui oleh kapal. Dalam penelitian ini, panjang lintasan yang dilalui kapal terbagi ke dalam beberapa *spot* atau *segmen*, yaitu *spot* 0-6500 dengan panjang lintasan 6522.9 meter, *spot* 6500-13000 panjang lintasan 6486 meter, *spot* 13000-19000 panjang lintasan 6009.2 meter, *spot* 19000-30000 panjang lintasan 11024.3 meter, *spot* 30000-38000 panjang lintasan 8057.5 meter dan yang terakhir *spot* 38000-43000 dengan panjang lintasan 5028.6 meter.

Sebagai *input* dalam perhitungan dengan MDTC ini, diperlukan data AIS (*Automatic Identification System*), yang selanjutnya diplotting ke dalam perangkat lunak QuantumGIS untuk membantu mendapatkan besarnya sudut yang dibentuk oleh kapal yang memiliki peluang untuk saling bertubrukan.

Dari *record* data AIS yang telah dikumpulkan, didapatkan besarnya sudut untuk skenario tubrukan secara *head on* adalah 10° , *overtaking* 225° , dan *crossing* 89° .

Selain sudut yang terbentuk antara kapal yang mungkin akan saling bertubrukan, data AIS digunakan untuk mengetahui titik koordinat seperti garis lintang dan garis bujurnya. Selanjutnya untuk mengetahui arah gerak kapal, yaitu data *true heading* dari *record* data AIS.

Pada perhitungan dengan metode MDTC ini, selain mendapatkan output berupa jumlah terjadinya tubrukan kapal dengan tiga skenario yang telah ditentukan, kita juga akan mendapatkan nilai $N_{\text{-collision candidate}}$ atau nilai peluang kapal yang akan terlibat tubrukan kapal dari total kapal yang melintas per tahun. Serta nilai P_c (*Causation Probability*) didapat untuk tiap *spot*.

Tabel 4.1 Perhitungan *Minimum Distance To Collision*

Encounter		V ₁	V ₂	N _{near coll}	N	L	cos α	V ₁₂	B ₁	B ₂	Po	N _{coll}	Na	SHF	Pc
Outer Channel Spot 0-6500	Head On	5.13	3.34	7.82E-02	35040	6522.9	0.983	1.881	23	21	2.56E-02	29.2	0.75	2.68E-03	1.37E-03
	Crossing	3.24	5.97	2.08E-01	17520	6522.9	0.017	22.720	20	14	2.56E-02	7.1	0.18	2.95E-02	6.27E-02
	Overtaking	2.83	2.62	2.82E-04	17520	6522.9	-0.707	12.694	10	28	2.56E-02	3.9	0.10	7.16E-05	2.72E-04

Encounter		V ₁	V ₂	N _{near coll}	N	L	cos α	V ₁₂	B ₁	B ₂	Po	N _{coll}	Na	SHF	Pc
Outer Channel Spot 6500-13000	Head On	5.13	3.34	7.82E-02	35040	6486	0.983	1.881	23	21	2.56E-02	28.9	0.74	2.71E-03	1.40E-03
	Crossing	3.24	5.97	2.08E-01	17520	6486	0.017	22.720	20	14	2.56E-02	7.0	0.18	2.99E-02	6.41E-02
	Overtaking	2.83	2.62	2.82E-04	17520	6486	-0.707	12.694	10	28	2.56E-02	3.9	0.10	7.24E-05	2.78E-04

Encounter		V ₁	V ₂	N _{near coll}	N	L	cos α	V ₁₂	B ₁	B ₂	Po	N _{coll}	Na	SHF	Pc
Outer Channel Spot 13000-19000	Head On	5.13	3.34	7.82E-02	35040	6009.2	0.983	1.881	23	21	2.56E-02	24.8	0.64	3.15E-03	1.91E-03
	Crossing	3.24	5.97	2.08E-01	17520	6009.2	0.017	22.720	20	14	2.56E-02	6.0	0.15	3.48E-02	8.70E-02
	Overtaking	2.83	2.62	2.82E-04	17520	6009.2	-0.707	12.694	10	28	2.56E-02	3.3	0.09	8.44E-05	3.78E-04

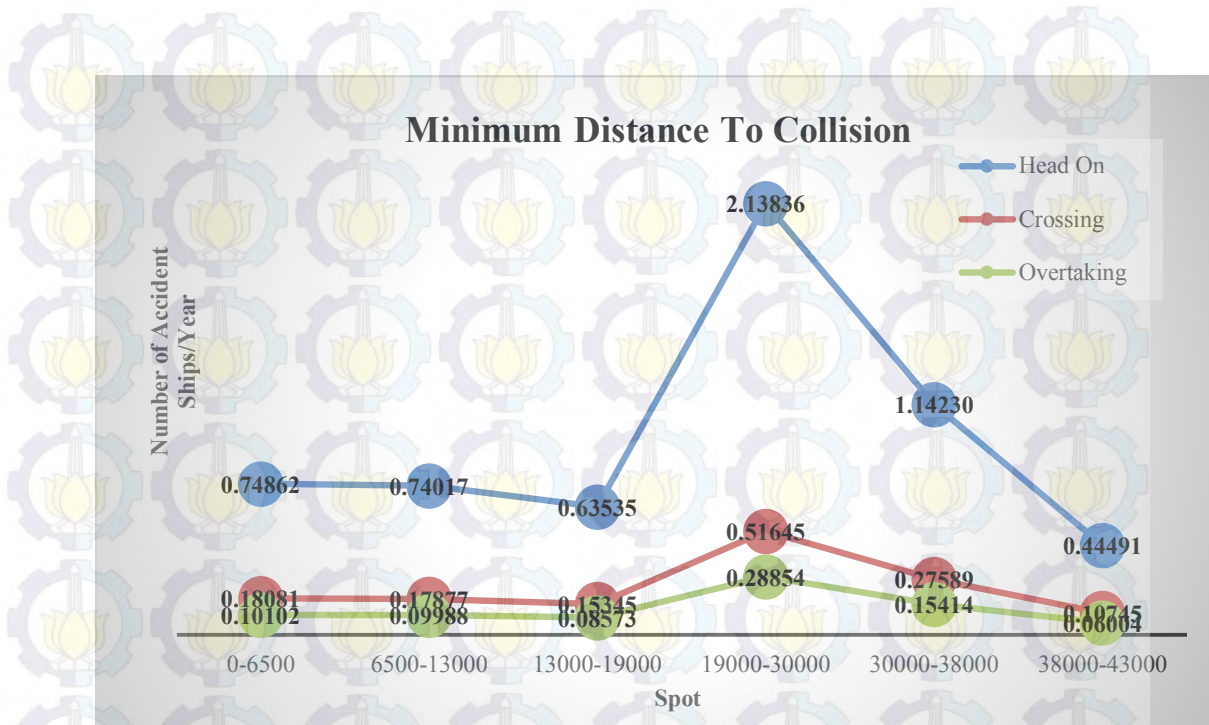
dilanjutkan

Lanjutan Tabel 4.19

Encounter		V ₁	V ₂	N _{near coll}	N	L	cos α	V ₁₂	B ₁	B ₂	Po	N _{coll}	Na	SHF	Pc
Inner Channel Spot 19000- 30000	Head On	5.13	3.34	7.82E-02	35040	11024.3	0.983	1.881	23	21	2.56E-02	83.5	2.14	9.37E-04	1.68E-04
	Crossing	3.24	5.97	2.08E-01	17520	11024.3	0.017	22.720	20	14	2.56E-02	20.2	0.52	1.03E-02	7.68E-03
	Overtaking	2.83	2.62	2.82E-04	17520	11024.3	-0.707	12.694	10	28	2.56E-02	11.3	0.29	2.51E-05	3.34E-05

Encounter		V ₁	V ₂	N _{near coll}	N	L	cos α	V ₁₂	B ₁	B ₂	Po	N _{coll}	Na	SHF	Pc
Inner Channel Spot 30000- 38000	Head On	5.13	3.34	7.82E-02	35040	8057.5	0.983	1.881	23	21	2.56E-02	44.6	1.14	1.75E-03	5.89E-04
	Crossing	3.24	5.97	2.08E-01	17520	8057.5	0.017	22.720	20	14	2.56E-02	10.8	0.28	1.93E-02	2.69E-02
	Overtaking	2.83	2.62	2.82E-04	17520	8057.5	-0.707	12.694	10	28	2.56E-02	6.0	0.15	4.69E-05	1.17E-04

Encounter		V ₁	V ₂	N _{near coll}	N	L	cos α	V ₁₂	B ₁	B ₂	Po	N _{coll}	Na	SHF	Pc
Inner Channel Spot 30000- 38000	Head On	5.13	3.34	7.82E-02	35040	5028.6	0.983	1.881	23	21	2.56E-02	17.4	0.44	4.50E-03	3.89E-03
	Crossing	3.24	5.97	2.08E-01	17520	5028.6	0.891	5.825	20	14	2.56E-02	1.1	0.03	1.94E-01	2.70E+00
	Overtaking	2.83	2.62	2.82E-04	17520	5028.6	0.966	0.274	10	28	2.56E-02	5.1	0.13	5.58E-05	1.65E-04



Grafik 4.10 Number of Accident dengan Metode MDTC

Dari hasil perhitungan di atas, nilai peluang tubrukan kapal dengan metode MDTC menunjukkan nilai yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan hasil perhitungan dengan TBM. Hal ini dapat terjadi karena parameter lebar alur pada perhitungan peluang dengan metode MDTC tidak diperhitungkan. Dimana parameter lebar alur tentunya akan berpengaruh terhadap kepadatan *traffic* di suatu daerah. Dimana pada suatu wilayah perairan dengan lebar alur yang sempit dan kedalaman terbatas akan mempengaruhi jumlah dan ukuran kapal yang diijinkan melalui alur tersebut. Pada metode TBM, parameter yang paling mempengaruhi jumlah peluang terjadinya tubrukan kapal adalah lebar alur, jumlah kapal yang melintas dan nilai P_c . Sedangkan pada metode MDTC, parameter yang paling mempengaruhi jumlah peluang tubrukan kapal adalah parameter kecepatan kapal dan sudut yang terbentuk di antara dua kapal yang akan bertubrukan.

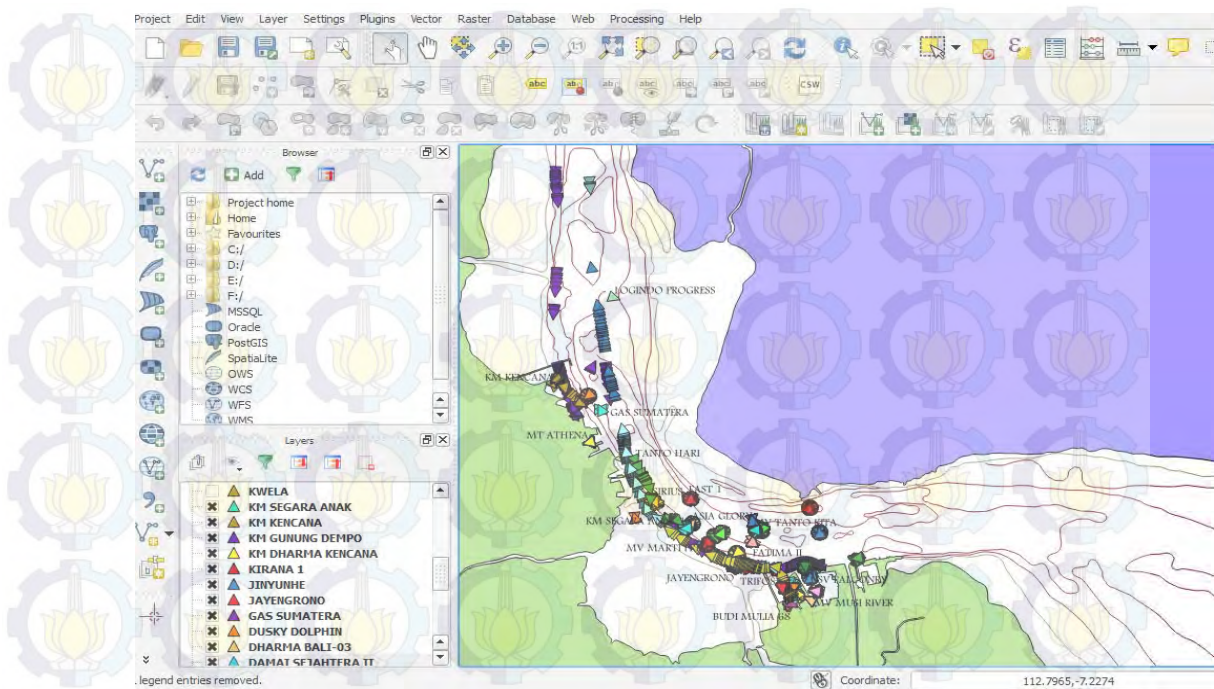
Bila ditinjau dari parameter yang digunakan oleh kedua metode yang diterapkan dalam penelitian ini, metode TBM dirasa lebih cocok diterapkan untuk perhitungan peluang tubrukan kapal di APBS, hal ini disebabkan oleh penggunaan parameter lebar alur, dan hal tersebut sesuai untuk karakteristik APBS yang sempit, dimana lebar alur sangat mempengaruhi jumlah kejadian tubrukan kapal. Adanya

rencana revitalisasi alur dirasa tepat karena dengan melebarkan alur, maka olah gerak kapal tidak lagi terbatas, sehingga kapal lebih dapat bermanuver dengan jarak yang cukup aman dengan kapal disekitarnya, tidak lagi terkendala oleh alur yang sempit. Sedangkan metode MDTC dinilai kurang cocok diterapkan di APBS karena lebih menitikberatkan pada sudut antar kapal dan kecepatan kapal saja. Dimana kurang sesuai dengan karakteristik APBS yang sempit dan tidak adanya parameter lebar alur pada metode MDTC.

Dari kedua perhitungan di atas, nilai kejadian per tahun belum memenuhi target Pelindo dimana diharapkan *zero accidents*, namun jumlah kejadian diharapkan dapat diminimalkan.

4.6 *Plotting Area Tingkat Bahaya Tubrukan Kapal di APBS dengan Software QGIS*

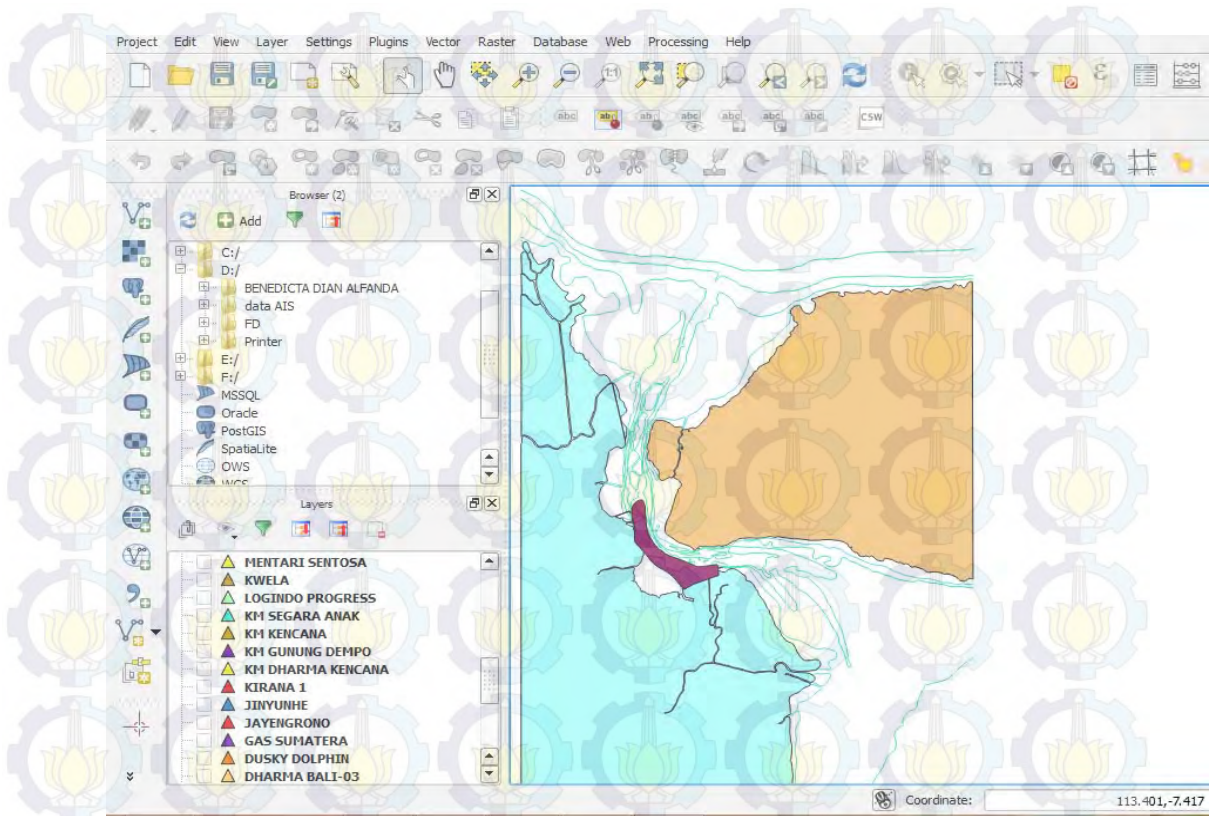
Dalam penelitian ini, *software QGIS* akan membantu dalam menyajikan pembagian daerah di APBS dengan tingkat kepadatan *traffic* yang berbeda. Setelah daerah yang akan dikaji dibagi menjadi dua segmen, yaitu *inner channel* dan *outer channel* dan dibagi lagi menjadi enam *spot*, selanjutnya akan dilakukan *plotting area* dengan mengacu nilai peluang tubrukan kapal pada tiap-tiap daerah yang didapatkan melalui dua metode perhitungan yaitu MDTC (*Minimum Distance To Collision*) dan TBM (*Traffic Based Models*). Sehingga dapat diketahui daerah mana yang memiliki tingkat bahaya tubrukan tertinggi dengan bantuan *software QGIS*.



Gambar 4.8 Plotting Koordinat AIS pada Quantum GIS

Data AIS yang telah *terecord* dalam bentuk “.csv” kemudian dimasukkan dalam GIS untuk membantu *plotting* koordinat kapal pada GIS. Format data “.csv” dapat langsung digunakan pada GIS sebagai *delimited text layer*. Setelah tiap jam data kapal dimasukkan, selanjutnya disimpan sebagai *new project* dan data yang tersimpan tersebut sudah otomatis tersimpan dalam *format “.shp”*. Setelah semua data kapal terplottkan, akan muncul tampilan pada GIS seperti tampak pada gambar 4.5 di atas.

Setelah seluruh perhitungan peluang tubrukan baik dengan metode TBM maupun MDTC, maka *plotting area* dengan nilai peluang tubrukan kapal tertinggi dapat diplottkan melalui perangkat lunak QuantumGIS seperti pada **gambar 4.9** berikut ini:



Gambar 4.9 *Plotting* Daerah dengan Frekuensi Tubrukan Kapal Paling Tinggi pada QGIS

Dari gambar tersebut, warna biru muda menunjukkan lokasi Pulau Jawa yang berseberangan dengan Pulau Madura yang ditandai dengan warna orange, dan diantara kedua pulau merupakan daerah dimana penelitian dilakukan, yaitu Selat Madura, khususnya Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS) dengan *plotting* daerah yang memiliki peluang tubrukan kapal tertinggi yaitu *inner channel* dengan tanda warna merah.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang dilakukan tentang tubrukan kapal yang terjadi di Alur Pelayaran Barat Surabaya (APBS) di Perairan Selat Madura dengan menggunakan metode perhitungan peluang yang digunakan, terdapat beberapa kesimpulan yang didapat, antara lain :

- 1) Hasil perhitungan peluang terjadinya tubrukan kapal menggunakan metode *Traffic Based Models* (TBM) maupun dengan metode *Minimum Distance To Collision* (MDTC) menunjukkan hasil yang sama, yaitu frekuensi tubrukan kapal tertinggi di APBS adalah tubrukan secara *head on* dan kejadian tubrukan kapal paling tinggi adalah di daerah *inner channel*.
- 2) Dari perhitungan frekuensi tubrukan dengan metode *Traffic Based Models* (TBM) didapatkan nilai bahwa tubrukan secara *head on* lah yang memiliki frekuensi tertinggi diikuti oleh *crossing* dan selanjutnya *overtaking*, seperti tampak pada tabel di bawah ini :

W	spot	0-6500	6500-13000	13000-19000	19000-30000	30000-38000	38000-43000
	100	0.681	0.677	0.627	1.151	0.841	0.525
150	0.303	0.301	0.279	0.512	0.374	0.233	
200	0.170	0.169	0.157	0.288	0.210	0.131	
W	spot	0-6500	6500-13000	13000-19000	19000-30000	30000-38000	38000-43000
	100	0.280	0.278	0.258	0.579	0.423	0.264
150	0.186	0.185	0.172	0.386	0.282	0.176	
200	0.140	0.139	0.129	0.290	0.212	0.132	
W	spot	0-6500	6500-13000	13000-19000	19000-30000	30000-38000	38000-43000
	100	0.168	0.167	0.155	0.285	0.208	0.130
150	0.075	0.074	0.069	0.253	0.185	0.115	
200	0.042	0.042	0.039	0.142	0.104	0.065	

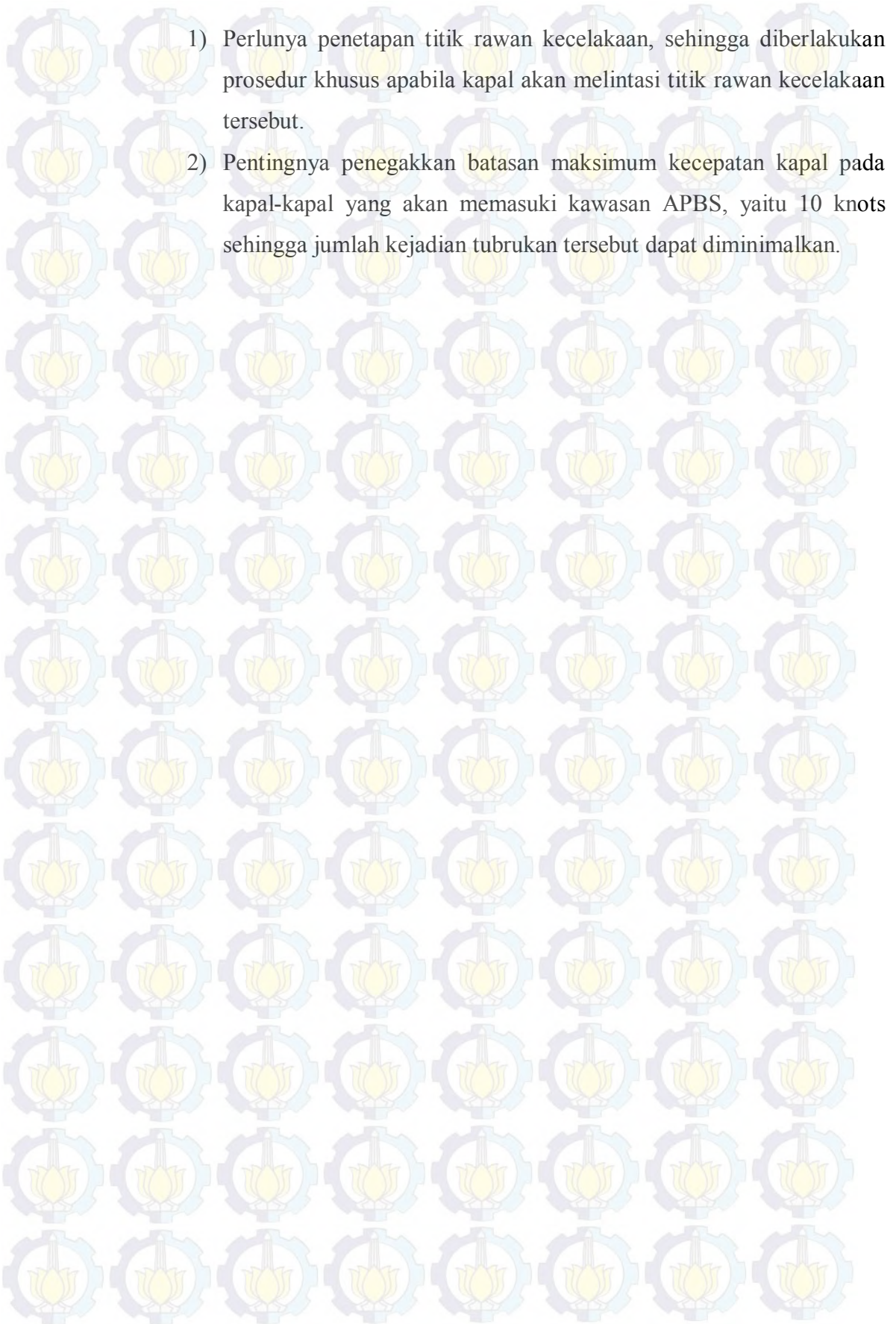
- 3) Perhitungan frekuensi tubrukan kapal dengan *Minimum Distance To Collision* (MDTC) menunjukkan hasil bahwa tubrukan *head on* juga merupakan tubrukan dengan nilai tertinggi bila dibandingkan dengan *crossing* maupun *overtaking*, ditunjukkan oleh tabel berikut ini :

Lokasi		Jumlah Kejadian (acc/year)		Jumlah Kejadian (acc/year)		Jumlah Kejadian (acc/year)	
spot	0-6500	Head on	0.74862	Overtaking	0.10102	Crossing	0.18081
	6500-13000		0.74017		0.09988		0.17877
	13000-19000		0.63535		0.08573		0.15345
	19000-30000		2.13836		0.28854		0.51645
	30000-38000		1.14230		0.15414		0.27589
	38000-43000		0.44491		0.06004		0.10745

- 4) Nilai P_c merupakan faktor penyebab terjadinya tubrukan melalui metode *Minimum Distance To Collision (MDTC)* P_c **Head on** untuk *spot* 0-6500= 1.37×10^{-3} , *spot* 6500-13000= 1.40×10^{-3} , *spot* 13000-19000= 1.91×10^{-3} , *spot* 19000-30000= 1.68×10^{-4} , *spot* 30000-38000= 5.89×10^{-4} , *spot* 38000-43000= 3.89×10^{-3} . Nilai P_c **Crossing** untuk *spot* 0-6500= 6.27×10^{-2} , *spot* 6500-13000= 6.41×10^{-2} , *spot* 13000-19000= 8.70×10^{-2} , *spot* 19000-30000= 7.68×10^{-3} , *spot* 30000-38000= 1.77×10^{-1} , *spot* 38000-43000= 3.89×10^{-3} , P_c **Overtaking** untuk *spot* 0-6500= 2.72×10^{-4} , *spot* 6500-13000= 2.78×10^{-4} , *spot* 13000-19000= 3.78×10^{-4} , *spot* 19000-30000= 3.34×10^{-5} , *spot* 30000-38000= 1.17×10^{-4} , *spot* 38000-43000= 7.70×10^{-4} .
- 5) Dari kedua perhitungan di atas, dapat ditarik kesimpulan bahwa kapasitas maksimum APBS adalah sejumlah 61320 kapal per tahun dengan jumlah kejadian kecelakaan di bawah 1 kejadian per tahun.
- 6) Metode yang paling cocok diterapkan untuk perhitungan peluang tubrukan kapal di APBS adalah metode *Traffic Based Models*, untuk APBS yang mempunyai karakteristik sempit. Dari kedua metode yang digunakan, pada metode TBM parameter lebar alur merupakan parameter yang paling berpengaruh terhadap jumlah kejadian tubrukan kapal.

5.2. Saran

Dari kesimpulan yang telah diuraikan, maka perlu dilakukan beberapa hal untuk meningkatkan keselamatan berlayar di APBS, antara lain :



- 1) Perlunya penetapan titik rawan kecelakaan, sehingga diberlakukan prosedur khusus apabila kapal akan melintasi titik rawan kecelakaan tersebut.
- 2) Pentingnya penegakkan batasan maksimum kecepatan kapal pada kapal-kapal yang akan memasuki kawasan APBS, yaitu 10 knots sehingga jumlah kejadian tubrukan tersebut dapat diminimalkan.

DAFTAR PUSTAKA

Adriansyah, (2012), *Dua Kapal Cargo Tabrakan di Selat Madura, Satu Tenggelam*. Merdeka, 12 Desember 2012, dibaca pada 5 Juni 2014 pukul 20:15 WIB, Website : <http://www.merdeka.com/peristiwa/dua-kapal-cargo-tabrakan-di-selat-madura-satu-tenggelam.html>.

Adrianto, Dian., Dinas Hidro – Oseanografi TNI AL, (2014), Peta No.84, *Peta Jawa-Pantai Utara, Pelabuhan Surabaya dan Gresik*, edisi Desember 2004, Dishidros Jakarta.

Adrianto, Dian., Dinas Hidro – Oseanografi TNI AL, (2014), Peta No.96, *Peta Surabaya, Alur Pelayaran Barat dan Timur*, edisi Desember 2004, Dishidros Jakarta.

Adrianto, Dian., Dinas Hidro – Oseanografi TNI AL, (2014), Peta No.96a, *Peta Surabaya, Alur Pelayaran Barat*, edisi Desember 2012, Dishidros Jakarta.

Aids to Navigation Dirjen Hubla Blogspot, (2010), *Sistem Pelampungan A*, diunduh pada 6 Juni 2014 pukul 17:18 WIB, Website : http://perambuan-aton.blogspot.com/2010_06_20_archive.html.

Artana, KB., (2014), Slide Presentasi : *Penilaian Risiko Platform PHE-7 dan Pipa Gas dari PHE-7 ke PHE-48 Akibat Lalu Lintas Kapal*, Surabaya : LPPM-ITS.

Departemen Perhubungan, (2012), *Public Release-Investigation Report*, Jakarta : KNKT, diunduh pada 5 Juni 2014 pukul 17:30 WIB, Website : http://www.dephub.go.id/knkt/ntsc_maritime/maritime.htm.

Direktorat Jenderal Perhubungan Laut, (2013), *Daftar Suar Indonesia Edisi 2013*, Surabaya : Distrik Navigasi Kelas IA, Instalasi Pengamatan Laut.

Fowler, T.G., Sorgrad, E., (2000), *Modeling Ship Transportation Risk*. Risk Analysis 20, 225–244.

Fujii, Y., Yamanouchi, H., Mizuki, N., (1970), *On the Fundamentals of Marine Traffic Control. Part 1 Probabilities of Collision and Evasive Actions*. Electron Navigation Research Instrumentation Paper 2, 1–16.

GIS Konsorsium Aceh Nias, (2007), *Modul Pelatihan ArcGIS Tingkat Dasar*, Banda Aceh : Staf Pemerintah Kota Banda Aceh.

Gluver, H., Olsen, D., (1998), *Ship Collision Analysis*, Taylor & Francis, London.

Goerlandt, F., Kujala, P., (2011), Traffic Simulation Based Ship Collision *Probability Modeling*, Reliability Engineering System Safety 96, 91–107.

Harry, Gurning, S., Priyanta, D., (2013), *Analisa Profil Risiko Kapal Tanker Pada Daerah Pelayaran Terbatas Studi Kasus : Selat Madura*, Surabaya : ITS.

Ikawati, (2014), *Industri Perkapalan Pilar Ekonomi Indonesia*. Jurnal Maritim, 13 Mei, dibaca pada 5 Juni 2014 pukul 17:33 WIB, Website : <http://jurnalmaritim.com/2014/6/1151/industri-perkapalan-pilar-ekonomi-indonesia>.

Kentucky Department & Fish & Wildlife Resources, *Boating Regulations*, diunduh pada 5 Mei 2014 pukul 13:10 WIB, Website : <http://fw.ky.gov/FishBoatGuide/Pages/Boating.aspx>.

Komite Nasional Keselamatan Transportasi. (2009). *Trend Kecelakaan Transportasi Laut Tahun 2003 - 2008*. Jakarta: PT. Trans Asia Consultants.

Komite Nasional Keselamatan Transportasi, (2011), *Analisis Data Kecelakaan dan Investigasi Transportasi Laut Tahun 2007-2011*, Konferensi Pers Akhir Tahun 2011, 29 Desember, 2011, Jakarta.

Komite Nasional Keselamatan Transportasi, (2013), *Accident Reports*, Jakarta, diunduh pada 5 Juni 2014 pukul 17:33 WIB, Website: http://www.dephub.go.id/knkt/ntsc_maritime/maritime_investigation_report1.htm.

Kristiansen, S., (2005), *Maritime Transportation : Safety Management and Risk Analysis*, Oxford : Elsevier Butterworth-Heinemann.

Kujala, P., Hanninen, M., Arola, T., Ylitalo, J., (2009), *Analysis of The Marine Traffic Safety in the Gulf of Finland*, Reliability Engineering System Safety 94, 1349–1357.

Kurniawan, Ratna D, (2012), *Risk Assessment Tubrukan Kapal pada Daerah Pelayaran yang Terbatas dengan Memanfaatkan Data AIS*. Surabaya : ITS.

Lestari, Sri H., (2012), *KM Lambelu dan KM Journey Tabrakan di Selat Madura*, Tribunnews, dibaca pada 1 April 2014 pukul 20:30 WIB, Website : <http://www.tribunnews.com/regional/2014/04/01/km-lambelu-dan-km-journey-tabrakan-di-selat-madura>.

Majalah Dermaga, (2013), *Alur Pelayaran Barat Surabaya Masih Menghambat*, Edisi 172, Hal. 23, diunduh pada 21 Mei 2014 pukul 20:43 WIB, Website : www.majalahdermaga.com.

Marvin Rausand, (2005), *Preliminary Hazard Analysis*, Department of Production and Quality Engineering Norwegian University of Science and Technology.

Matthew, (2009), *Photoldweiler : Red Buoy*, diunduh pada 17 Juli 2014 pukul 15:04 WIB, <http://oldweiler.com/photoldweiler/2009/11/06/red-buoy/>

Montewka, J., (2011), “Collision Probability Assessment-MDTC Model” dalam *Efficient, Safe and Sustainable Traffic at Sea*, eds. Goerlandt, F., Hanninen, M., Montewka, J., Seppala, T., Ylitalo, J., Finland, hal. 48-68.

Montewka, J., Goerlandt, F., Kujala, P., (2011), *Determination of Collision Criteria and Causation Factors Appropriate to a Model for Estimating The Probability of Maritime Accidents*, Ocean Engineering 40, 50-61.

Montewka, J., Hinz, T., Kujala, P., Matusiak, J., (2010), *Probability Modelling of Vessel Collisions*, Reliability Engineering System Safety. 95, 573–589.

Nikson, Willem., (2009), *Kebijakan Keselamatan dan Keamanan Transportasi Laut*, diunduh pada 18 Maret 2014 pukul 20:34 WIB, Website : <http://www.bakorkamla.go.id>, Jakarta : Badan Koordinasi Keamanan Laut.

Nugraha, P.B., (2014), *Terminal Teluk Lamong Topang Kinerja Pelabuhan Tanjung Perak*, Kabar Bisnis.com 27 April, dibaca pada 5 Juni 2014 pukul 17:15 WIB, Website : <http://kabarbisnis.com/read/2846875>.

Pelabuhan Indonesia III (Persero), PT., (2011), *Rencana, Strategi Implementasi dan Roadmap Pembangunan Pelabuhan di Kawasan PT Pelabuhan Indonesia III (Persero)*, Focus Group Discussion Rencana dan Strategi Implementasi Pengembangan Pelabuhan di Indonesia dalam Rangka RJPN 2011-2030, Jakarta.

Pemaparan Menteri Perhubungan, (2012), *Pembangunan dan Pengembangan Infrastruktur Transportasi di Provinsi Jawa Timur*, Musrenbang Provinsi Jawa Timur, 16 April, 2012, Surabaya.

Perera, L.P., Carvalho, J.P., Guedes Soares, C., (2009), *Autonomous Guidance and Navigation Based on the COLREGs Rules and Regulations of Collision Avoidance*. In Proc. Of the International Workshop “Advanced Ship Design for Pollution Prevention”, Croatia.

Ryzqy, Nur F., (2013), *Studi Penerapan Metode Analisa Risiko Tubrukan Kapal Pada Alur Pelayaran Barat Surabaya dengan Memanfaatkan Data AIS.*, Surabaya : ITS.

Saliem, H.P., dkk., (2011), *Laporan Analisis Kebijakan - Kajian Masterplan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia (MP3I)*. Pusat Sosial Ekonomi dan Kebijakan Pertanian Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Kementerian Pertanian, diunduh pada 6 Juni 2014 pukul 18:13 WIB, Website : http://pse.litbang.deptan.go.id/ind/pdf/files/Anjak_2011_4_04.pdf.

Sari, D.P., (2011), *Perancangan Sistem Pengendalian dan Monitoring Untuk Menghindari Tabrakan Antar Kapal di Alur Barat Pelayaran Tanjung Perak Surabaya*, Surabaya : ITS.

Skjong, R., Vanem, E., Endersen, O, (2007), *Risk Evaluation Criteria DNV Rev 03*, Design, Operation, and Regulation For safety, SAFEDOR.

Spounge, J., (1999), *A Guide To Quantitative Risk Assessment for Offshore Installation*. UK.

Taufiqurrahman, (2009), *Perancangan DSS (Decision Support System) Berdasarkan AIS Data Untuk Meningkatkan Keselamatan Kapal di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya*, Surabaya : ITS.

The Lower Colorado River Authority (LCRA), (2010), *Buoys and Markers*, diunduh pada 17 Juli 2014 pukul 15:10 WIB, Website : <http://www.lcra.org/water/recreation-and-safety/safe-boating/pages/buoys-and-markers.aspx>

Waworek, M., & Baranowski, A., (2008), *Implementation of CPA (Closed Point of Approach) Algorithm in Multidimensional Risk Analyzing Module of MarSSIES (Maritime Safety & security Information Exchange System)*. Proc. of the XVI-th International Scientific and Technical Conference.

Wikipedia, the free encyclopedia, 2014. *Automatic Identification System*, <http://en.wikipedia.org>

BIOGRAFI



Penulis yang lahir pada tanggal 1 Januari 1989 di Kabupaten Grobogan sebuah daerah kecil di Jawa Tengah merupakan putri pertama dari dua bersaudara. Penulis menghabiskan masa kecilnya di desa Ngaringan kemudian pindah ke kota Semarang untuk menempuh pendidikan. Jenjang Sekolah Dasar di SD St. Aloysius, SMP Negeri 2 Semarang dan SMA Negeri 2 Semarang. Dibesarkan di tengah keluarga dengan latar belakang profesi sebagai guru, tidak membuat penulis mengikuti jejak tersebut, Teknik Perkapalan UNDIP menjadi pilihan penulis melanjutkan jenjang pendidikan Perguruan Tinggi pada Program Diploma III.

Setelah menyelesaikan pendidikan di DIII Teknik Perkapalan UNDIP, penulis melanjutkan jenjang pendidikan untuk meraih gelar Sarjana di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan (Lintas Jalur Siskal 2009) Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pada awal 2012 sampai dengan akhir 2013 penulis diberi kesempatan untuk terlibat dalam sebuah proyek pembangunan kapal Tanker bersama Tim Bremer Schifftechnik, dimana penulis mendapatkan banyak pengalaman dan ilmu dari kesempatan itu. Dan ditahun 2013 penulis melanjutkan pendidikan ke jenjang S2 dengan bantuan dana dari Dikti dalam program Beasiswa Program Pascasarjana Dalam Negeri (BPPDN). Penulis yang kerap menghabiskan waktu luang dengan berkumpul bersama keluarga atau mengobrol bersama teman-teman ini juga mempunyai hobi berwisata kuliner.

Benedicta Dian Alfanda

Mahasiswa Teknik Sistem dan Pengendalian Kelautan– PPsTK

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

benedicta13@mhs.na.its.ac.id